

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Kazi S. ABEDIN

GAU: 2877

SERIAL NO: 09/704,610

EXAMINER:

FILED: November 3, 2000

FOR: OPTICAL DISPERSION MEASUREMENT APPARATUS AND MEASUREMENT METHOD USING  
SAME

REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS  
WASHINGTON, D.C. 20231

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	11-315413	November 5, 1999
JAPAN	2000-265529	September 1, 2000

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number  
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s)
- ☐ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913



22850

Paul A. Sacher  
Registration No. 43,418

#7 / Priority  
PAPER  
T. Usher  
52303

RECEIVED  
APR 23 2003  
TECHNOLOGY CENTER



日本国特許庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

056256  
09/704,610

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日

Date of Application:

1999年11月 5日

出願番号

Application Number:

平成11年特許願第315413号

出願人

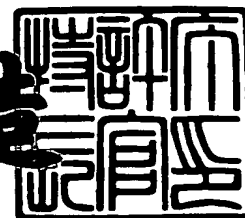
Applicant (s):

郵政省通信総合研究所長  
カジ サルワル アベディン

2000年12月22日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3107386

【書類名】 特許願

【整理番号】 CRL-99-W

【提出日】 平成11年11月 5日

【あて先】 特許庁長官 近藤 隆彦 殿

【国際特許分類】 H03H 15/00

【発明者】

【住所又は居所】 兵庫県神戸市西区岩岡町岩岡 5 8 8 - 2 郵政省通信総合研究所 関西先端研究センター内

【氏名】 カジ サルワル アベディン

【特許出願人】

【識別番号】 391027413

【氏名又は名称】 郵政省通信総合研究所長 飯田 尚志

【特許出願人】

【識別番号】 599022742

【氏名又は名称】 カジ サルワル アベディン

【国籍】 バングラデシュ

【代理人】

【識別番号】 100061642

【弁理士】

【氏名又は名称】 福田 武通

【選任した代理人】

【識別番号】 100082669

【弁理士】

【氏名又は名称】 福田 賢三

【選任した代理人】

【識別番号】 100095337

【弁理士】

【氏名又は名称】 福田 伸一

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 010571

【納付金額】 10,500円

【その他】 国以外のすべての者の持分の割合 5 0 / 1 0 0

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【物件名】 持分契約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光分散測定装置およびその測定方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光発生手段と、

該光発生手段からの光を光分岐器の第一端子へ入射する手段と、

該光分岐器の第一端子より入力した光を、光分岐器の第三端子および第四端子に出力する手段と、

該第三端子および第四端子を結ぶ概略単一の光路と、

該光路を通る該第三端子から第四端子へ向かう光と、該光路を通る該第四端子から第三端子へ向かう光とを変調する光変調手段と、

上記の変調された第三端子から第四端子へ向かう光と第四端子から第三端子へ向かう光とを光分岐器の第二端子に出力する手段と、

該第二端子から出力された光の光強度を検出する手段と、

上記の光変調の変調周波数の周期関数として上述の光強度を変調周波数に関連付ける手段と、

を有することを特徴とする光分散測定装置。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の光分散測定装置において、波長を変えることのできる光発生手段を備えた事を特徴とする光分散測定装置。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の光分散測定装置において、第三端子から第四端子へ向かう光を調整する第一の偏波調整手段と、該第四端子から第三端子へ向かう光を調整する第二の偏波調整手段とを備えたことを特徴とする光分散測定装置。

【請求項 4】 請求項 1 に記載の光路の一部に、被測定物を配置した構成であることを特徴とする光分散測定装置。

【請求項 5】 請求項 1 に記載の光路の一部が光反射手段により構成されていることを特徴とする光分散測定装置。

【請求項 6】 請求項 1 に記載の光路の一部に配置された被測定物に光反射手段を配置した構成としたことを特徴とする光分散測定装置。

【請求項 7】 請求項 1、2、3、4、5 あるいは 6 に記載の光分散測定装置

の光路に、90度ファラデー回転子を設けることにより、光分岐器の第二端子からの光の出力を、光が変調を受けた時よりも変調を受けないときの方が大きくならしめるか、あるいは、光が変調を受けた時よりも変調を受けないときの方が小さくならしめるかしたことを特徴とする光分散測定装置。

【請求項 8】 光発生手段により光を発生させ、

該光発生手段からの光を光分岐器の第一端子へ入射し、

該光分岐器の第一端子より入力した光を、光分岐器の第三端子および第四端子に出力し、

該第三端子から出力された光と、第四端子から出力された光を概略単一の光路に、進行方向を互いに逆に導き、

該光路を通る該第三端子から第四端子へ向かう光と、該光路を通る該第四端子から第三端子へ向かう光とを変調し、

上記の変調された第三端子から第四端子へ向かう光と第四端子から第三端子へ向かう光とを光分岐器の第二端子に出力し、

該第二端子から出力された光の光強度を検出し、

上記の光変調による変調周波数と、第二端子から出力された光の光強度の関係において周期性を見出し、

該周期性の、第一端子より入力した光の波長に対する依存性から、上記の光路の波長分散特性を取得することを特徴とする光分散測定装置の測定方法。

【請求項 9】 光発生手段により光を発生させ、

該光発生手段からの光を光分岐器の第一端子へ入射し、

該光分岐器の第一端子より入力した光を、光分岐器の第三端子および第四端子に出力し、

該第三端子から出力された光と、第四端子から出力された光を概略単一の光路に、進行方向を互いに逆に導き、

該光路を通る該第三端子から第四端子へ向かう光と、該光路を通る該第四端子から第三端子へ向かう光とを変調し、

上記の変調された第三端子から第四端子へ向かう光と第四端子から第三端子へ向かう光とを光分岐器の第二端子に出力し、

該第二端子から出力された光の光強度を検出し、

上記の光変調による変調周波数と、第二端子から出力された光の光強度の関係において周期性を見出し、

その周期性を用いて、上記の光路の光路長を見出すことを特徴とする光分散測定装置の測定方法。

【請求項 1 0】 請求項 9 に記載の光分散測定装置の測定方法において、

該光発生手段からの光を光分岐器の第一端子へ入射し、

該光分岐器の第一端子より入力した光を、光分岐器の第三端子および第四端子に出力し、

該第三端子から出力された光と、第四端子から出力された光を概略単一の光路に、進行方向を互いに逆に導き、

該光路を通る該第三端子から第四端子へ向かう光と、該光路を通る該第四端子から第三端子へ向かう光とを、上記の光変調による変調周波数と、第二端子から出力された光の光強度の関係において見出される周期性の周期以上の周波数を持つ信号で変調し、

上記の変調された第三端子から第四端子へ向かう光と第四端子から第三端子へ向かう光とを光分岐器の第二端子に出力し、

該第二端子から出力された光の光強度を検出し、

上記の光変調による変調周波数と、第二端子から出力された光の光強度の関係において周期性を見出し、

その周期性の光の波長および上記の光路の光路長に対する依存性を、上記の光路の光路長の変化に換算することを特徴とする光分散測定装置の測定方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

この発明は、光分散測定装置およびその測定方法に関するものである。特にシングルモード光ファイバーを伝搬する光の群速度分散を測定するための測定装置と測定方法に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

光信号は光ファイバー中を伝搬するときに、異なる波長を持つ光は異なる速度で伝搬する。この現象は群速度分散と呼ばれる。この群速度分散のため光ファイバー中を光パルスが伝搬するときにパルスの広がる原因となる。光通信において、現在では  $1.3\ \mu$  及び  $1.55\ \mu$  の波長領域が主に使われ、長距離間で光信号を伝送するのに、最適な分散特性をもつ光ファイバーを利用する必要がある。また、パルス中のチャープの保証や非線形効果と分散効果を利用した光ファイバーを用いたパルス発生法などにおいて最適な群速度分散及び長さを持つ光ファイバーを用いる必要がある。このような目的において、シングルモード光ファイバーの群速度分散の測定は必要不可欠である。

【0003】

光ファイバーなどの群速度分散を測定するための方法としては、a) パルス遅延 (Pulse-Delay) 法、b) 干渉 (Interferometric) 法、c) 位相シフト (Phase Shift) 法、d) ベースバンドエムレスポンス (Baseband AM response) 法が主に用いられている。以下にこれらの方法について、説明する。

【0004】

a) パルス遅延法による群速度分散の測定については、例えば次の文献に記載されている (L. G. Cohen and Chinlon Lin, Pulse Delay measurements in the zero material dispersion wavelength region for optical fibers, Applied Optics, Vol. 16, No. 12, pp. 3136-3139 (1977)). このパルス遅延法では、異なる中心波長を持つ光パルスを測定する光ファイバー中で伝搬させ、光ファイバーにおいて光パルスの相対的伝搬遅延時間の測定から群速度分散を測定するものである。この方法を用いた場合の測定精度は、入射パルスの幅、相対的遅延時間の測定に用いる光検出器の周波数帯域、及び時間軸について観測するためのオシロスコープの周波数帯域によって制限されるため、光検出器およびオシロスコープについては、高帯域のものが必要にな



る。

【0005】

b) 干渉法による群速度分散の測定については、例えば次の文献に記載されている (M. Tateda, N. Shibata and S. Seikai, Interferometric method for chromatic dispersion measurement in a single-mode optical fiber, IEEE Journal of Quantum Electronics, 1981, Vol. 17, No. 3, pp. 404-407 (1981).)。この干渉方法は光パルスを2つの成分に分岐させ、一方はレファレンス光として用い、もう一方は光ファイバーを伝搬させる。透過後の光を、光遅延回路を通ったレファレンス光に干渉をさせ、レファレンス光の遅延を変えて干渉フリンジを得るものである。入射光波長の変化による干渉フリンジの変化から群速度分散を導く。この方法は高周波数帯域を持つ光検出器、オシロスコープなどを必要としないが、長い光ファイバーの分散の測定はこの方法では困難であり、通常測定できる光ファイバーの長さは、10m以下に限られる。

【0006】

c) 位相シフト法による群速度分散の測定については、例えば次の文献に記載されている (K. Daikoku and A. Sugimura, Direct measurement of wavelength Dispersion in optical fiber-difference method, Electronics letters, 1978, Vol. 14, No. 5, pp. 149-151.)。この位相シフト法では、単一モードレーザー光を先ず変調器を用いて変調し、測定される光ファイバーに入射する。入射した光は、光ファイバーの群速度分散効果をうけ、光ファイバーから出射する光のベースバンド信号の位相が光の波長の変化とともに変化する。波長の変化に対するベースバンド信号の位相の変化をオシロスコープ上で測定し群速度分散を導く方法である。ここで得られる測定精度は変調周波数、光検出器、及びオシロスコープの周波数帯域によって制限される。

【0007】

d) ベースバンドAMレスポンス (Baseband AM Response) 法による群速度分散の測定については、例えば次の文献に記載されている (B. Christensen, J. Mark, G. Jacobsen and E. Bodtker, Simple dispersion measurement technique with high resolution, Electronics Letters, 1993, Vol. 29, No. 1, pp. 132-134.)。この測定法は、群速度を直接測る点に特徴があり、単一モードレーザー光を高周波数で振幅変調し、光ファイバーに入射する。光ファイバーをその入射光が伝搬する際、分散のため上記の振幅変調により生じた2つのサイドバンドが異なった位相の変化を受け、その結果として、ある特定の変調周波数において、変調は振幅変調から周波数変調に変化する。この周波数を測定し、直接群速度分散が得られる。この方法で測定するには、被測定物として数十kmの長い光ファイバーを使う必要があり、しかも数十GHzの周波数帯域を持つネットワークアナライザが必要となる。

【0008】

また、本発明の構成に類似のものにサニャック効果に基づくレーザージャイロがあり、例えば、アメリカ合衆国特許 (USA. PAT. No. US5056919号公報) に記載されている。この発明は、装置の構成目的が本発明とは異なるため、該光発生手段からの光を光分岐器の第一端子へ入射する手段と、該光分岐器の第一端子より入力した光を、光分岐器の第三端子および第四端子に出力する手段と該第三端子および第四端子を結ぶ概略単一の光路と、該光路を通る該第三端子から第四端子へ向かう光と、該光路を通る該第四端子から第三端子へ向かう光とを変調する光変調手段と、上記の変調された第三端子から第四端子へ向かう光と第四端子から第三端子へ向かう光とを光分岐器の第二端子に出力する手段と、該第二端子から出力された光の光強度を検出する手段を備えている点については、本発明の特徴と共通している。しかし、この発明の、他の特徴のひとつに、単色光源を用いることが有る。一方、本発明では、波長を変えることのできる

光発生手段を用いることが特徴のひとつになっており、この点で異なっている。  
また、本発明では、上記の光変調の変調周波数の周期関数として上述の第二端子から出力された光の光強度を変調周波数に関連付ける手段を備えているが、この点においても異なっている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、従来の光分散測定装置およびその測定方法では、従来のパルス遅延法、位相シフト法またはベースバンドエーエムレスポンス (Baseband AM Response) 法を用いて群速度を測定する際、広い周波数帯域 (数GHzから数十GHz) を持つ光検出器やオシロスコープやネットワークアナライザなどが必要であった。

【0010】

この発明は上記に鑑み提案されたもので、簡単な装置により、光分散測定コストの削減を図ることができる光分散測定装置およびその測定方法を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明では、従来には無かった光ファイバーの群速度分散を測定するための新しい方法と、その測定のための測定装置を提案している。この新しい方法を用いることによって光ファイバーの群速度分散の測定は、従来の測定に比べてより簡単な装置で行うことができるようになった。これを以下に説明する。

【0012】

この新しい測定方法は、図1に、本発明の提案する新しい光分散測定方法の動作概念示す様に、光変調器を含むリング型の干渉計を利用した方法である。図1に示す干渉計10は主に、単一モードレーザ光源16、一般に3dbカプラとして知られる光分岐器12、光変調器15、リング状光路14、及び測定される光ファイバー13、光検出器11から構成され、かつ変調器15はリングに非対称な位置に設置されている。ここでは、光源としての単一モードレーザ光を端

子 1 に入射し、光分岐器 1 2 を用いて、端子 3 と端子 4 に出力し、2 つの成分に分ける。端子 3 から出射する一方の光成分は変調器 1 5 で変調された後、測定される光ファイバー 1 3 の一端に入力される。端子 4 から出射するもう一方の光成分は光ファイバー 1 3 の残りの一端に入力される。このような構成では、端子 3 から出射し、変調器 1 5 で変調された後、測定される光ファイバー 1 3 の一端に入力される時計周りの光成分は変調を受け、変調によるサイドバンドが発生する。このサイドバンドを伴った光は、光ファイバー 1 3 を伝搬する際群速度分散の影響を受けた後、端子 4 に入射する。しかし、反時計回りの光成分は光ファイバー 1 3 を通過後、変調を受けるので光ファイバー 1 3 による群速度分散を受けずに端子 3 に入射する。これらの端子 3 および端子 4 に入射した光は、端子 2 から出力されるが、これら 2 つの入射成分は干渉計の端子 2 から出射する際お互い干渉し合い、時間についての平均出力パワーが、上記の分散による効果で変調周波数に依存することとなる。変調周波数をスキャンしながら、端子 2 から出射する光の平均出力を光検出器 1 1 を用いて測定すれば周期的な構造を持った干渉フリンジが見られる。さらに光源の波長が変わると、フリンジがシフトする現象が見られる。この現象を用いて、光の波長分散測定することができる。以下に詳細に、これを説明する。

## 【 0 0 1 3 】

光路は、図 1 の様に、光ファイバー L 1、光位相変調器、光ファイバー L 2 で構成され、時計回りに進む光については添え字として、CW を付けて表し、反時計回りに進む光に付いては、CCW を付けて表すものとする。また、入射光の電場強度を  $E_i$ 、光の角速度を  $\omega_0$ 、時間を  $t$ 、光ファイバー L 1 を光が伝搬する距離を  $L_1$ 、角速度  $\omega_0$  の光が光ファイバー L 1 を伝搬する際の伝搬定数を  $\beta_0$  1 とすると、入射光が時計回りの方向 (CW) に進む光については、次の様に表すことができる。

## 【数 1】

$$E_{cw}(t) = \frac{E_i}{\sqrt{2}} \exp(i\omega_0 t)$$

反時計回りの方向（CCW）に進む光については、

【数 2】

$$E_{\text{ccw}}(t) = \frac{iE_i}{\sqrt{2}} \exp(i\omega_o t)$$

と分岐される。また、光が光ファイバー L 1 を伝搬することにより、光の電場は、次のようになる。

【数 3】

$$E_{\text{cw}}(t) = \frac{E_i}{\sqrt{2}} \exp(i\omega_o t) \exp(-i\beta_{o1} L_1)$$

【0 0 1 4】

この後、この光が、角速度  $\omega_m$ 、変調強度 M 1 で、位相変調されると、光の電場は、次のように表される。

【数 4】

$$E_{\text{cw}}(t) = \frac{E_i}{\sqrt{2}} \exp(i\omega_o t) \exp(-i\beta_{o1} L_1) \exp[iM_1 \cos(\omega_m t)]$$

ここで、 $M_1 \ll 1$  なる領域では、近似的に次の様に展開できる。

【数 5】

$$\exp[iM_1 \cos(\omega_m t)] \approx 1 + i M_1 [\exp(i\omega_m t) + \exp(-i\omega_m t)]/2$$

従って、 $M_1 \ll 1$  なる領域では、位相変調を受けた角速度  $\omega_o$  の光は、角速度  $\omega_o - \omega_m$ 、と角速度  $\omega_o + \omega_m$  2 つのサイドバンドが発生する事がわかる。

【0 0 1 5】

これらの光が、光ファイバー L2 を伝搬する際の伝搬定数を角速度  $\omega_0$  の光について、 $\beta_{02}$  とすると、一次近似で、

角速度  $\omega_0 - \omega_m$  の光について、 $\beta_{02} - \beta_{12} \cdot \omega_m$ 、

角速度  $\omega_0 + \omega_m$  の光について、 $\beta_{02} + \beta_{12} \cdot \omega_m$ 、

と近似的に展開できる。ここで、 $\beta_{12}$  は、L2 における光の群速度の逆数に相当する。従って、時計回りに進む光については、近似的に、次の様に表すことができる。

【数 6】

$$E_{cw}(t) = \frac{E_i}{\sqrt{2}} \exp(i\omega_0 t - i\beta_{01} L_1 - i\beta_{02} L_2) [1 + iM_1 \cos(\omega_m t - \beta_{12} \omega_m L_2)]$$

上記と同様の方法で、反時計回りに進む光については、近似的に、次の様に表すことができる。

【数 7】

$$E_{ccw}(t) = \frac{iE_i}{\sqrt{2}} \exp(i\omega_0 t - i\beta_{01} L_1 - i\beta_{02} L_2) [1 + iM_2 \cos(\omega_m t - \beta_{11} \omega_m L_1)]$$

ここで、 $\beta_{11}$  は、L1 における光の群速度の逆数に相当する。

【0016】

これらの光が、光分岐器で合成されると、合成された光の電場強度  $E_0$  は、次の式で表される。

【数 8】

$$\begin{aligned} E_0(t) &= \frac{E_{cw}(t) + iE_{ccw}(t)}{\sqrt{2}} \\ &= \frac{iE_i}{2} \exp(i\omega_0 t - i\beta_{01} L_1 - i\beta_{02} L_2) [M_1 \cos(\omega_m t - \beta_{12} \omega_m L_2) - M_2 \cos(\omega_m t - \beta_{11} \omega_m L_1)] \end{aligned}$$

従って、光強度は、次の様になる。

【数 9】

$$E_o(t)\overline{E_o(t)} = \frac{E_i^2}{4} [M_1 \cos(\omega_m t - \beta_{12}\omega_m L_2) - M_2 \cos(\omega_m t - \beta_{11}\omega_m L_1)]^2$$

この光強度の長時間の平均を取ると、次の様になる。

【数 1 0】

$$\langle E_o(t)\overline{E_o(t)} \rangle = \frac{E_i^2}{8} \left[ (M_1 - M_2)^2 + 4M_1 M_2 \sin^2 \left( \frac{\beta_{12}\omega_m L_2 - \beta_{11}\omega_m L_1}{2} \right) \right]$$

ここで、 $\omega_m \ll \omega_o$  であるので、また、リング状光路 1 4 の光路長  $L_1$  は、測定される光ファイバーの光路長  $L_2$  よりも短くて  $L_1 \ll L_2$  の関係にあるとき、数 1 0 は、次の式で近似できる。

【数 1 1】

$$\langle E_o(t)\overline{E_o(t)} \rangle = \frac{E_i^2}{2} \left[ \frac{1}{4} (M_1 - M_2)^2 + M_1 M_2 \sin^2 \left( \frac{\beta_{12}\omega_m L_2}{2} \right) \right]$$

【0 0 1 7】

このため、ここで、端子 4 から出射する光の平均出力を観測しながら  $\omega_m$  を変えることにより、フリンジが観測される事がわかる。表記を簡単にするため、被測定物に話題を限って、 $\beta_{12}$  を  $\beta_1$ 、 $L_2$  を  $L$  と書くことにすると、その周期  $f_c$  は、次の式で表される。

【数 1 2】

$$f_c = \frac{1}{\beta_1 L}$$

また、数 11 から光強度が極小となる変調周波数  $f_o$  は、次の式で表わせる。

【数 13】

$$f_o = \frac{N}{\beta_1 L} = N \cdot f_c$$

ここで、 $N$  は正の整数である。通常は、 $\beta_1$  は光の波長の関数であるため、ある一定の値の  $N$  において、入射光の波長を変えると  $f_o$  も変わることになる。数 13 から群速度分散  $D$  が数 14 のように示される。

【数 14】

$$D = \frac{\Delta \beta_1}{\Delta \lambda} = \frac{-1}{L f_o f_c} \cdot \frac{\Delta f_o}{\Delta \lambda}$$

【0018】

変調周波数をスキャンしながら、出力光を光検出器 11 を用いて検出し、レコーダーやコンピューターを用いて観測すれば、任意の波長、において干渉フリンジが得られる。例えば  $N$  が非常に大きい周波数で変調した場合でも、干渉フリンジが得られる。次に入射光の波長を  $\Delta \lambda$  変え、同様に変調周波数をスキャンし  $\lambda + \Delta \lambda$  波長での干渉フリンジを得る。波長は  $\Delta \lambda$  を変化したことに対して周波数軸上で干渉フリンジのシフトが  $\Delta f_o$  であれば、群速度分散は、数 14 を用いて得ることができる。

【0019】

上記の説明では、変調度  $M_1$  および  $M_2$  が小さいものとして説明したが、変調度  $M_1$  が 2 程度まで成立する近似式として、ベッセル関数で位相変調項を展開した近似式を用いることができる。



【数 1 5】

$$\exp[iM_1 \cos(\omega_m t)] \cong J_0(M_1) + iJ_1(M_1)\exp(i\omega_m t) - iJ_1(M_1)\exp(-i\omega_m t) \\ - J_2(M_1)\exp(i2\omega_m t) - J_2(M_1)\exp(-i2\omega_m t) + \dots$$

同様にして、次の式を得ることができる。

【数 1 6】

$$\exp[iM_2 \cos(\omega_m t)] \cong J_0(M_2) + iJ_1(M_2)\exp(i\omega_m t) - iJ_1(M_2)\exp(-i\omega_m t) \\ - J_2(M_2)\exp(i2\omega_m t) - J_2(M_2)\exp(-i2\omega_m t) + \dots$$

これらの近似式を用いて、時計回りと、反時計回りの光を合成した光のパワー  $P_o$  は、次の様に表される。

【数 1 7】

$$P_o \cong \frac{P_i}{2} \left[ \{J_0(M_1) - J_0(M_2)\}^2 / 2 \right. \\ + \{J_1(M_1) - J_1(M_2)\}^2 + 4J_1(M_1)J_1(M_2)\sin^2\left(\frac{\beta_{12}\omega_m L_2 - \beta_{11}\omega_m L_1}{2}\right) \\ \left. + \{J_2(M_1) - J_2(M_2)\}^2 + 4J_2(M_1)J_2(M_2)\sin^2(\beta_{12}\omega_m L_2 - \beta_{11}\omega_m L_1) \right]$$

ここで、 $\omega_m \ll \omega_o$  であるので、また、光路長  $L_1$  は光路長  $L_2$  よりも短くて  $L_1 \ll L_2$  の関係にあるとき、上記と同様に被測定物に話題を限って、 $\beta_{12}$  を  $\beta_1$ 、 $L_2$  を  $L$  と書くことにすると、以下の関係を導くことができる。

【数 1 8】

$$P_o \cong \frac{P_i}{2} \left[ \{J_0(M_1) - J_0(M_2)\}^2 / 2 + \{J_1(M_1) - J_1(M_2)\}^2 + 4J_1(M_1)J_1(M_2)\sin^2\left(\frac{\beta_1\omega_m L}{2}\right) + \{J_2(M_1) - J_2(M_2)\}^2 + 4J_2(M_1)J_2(M_2)\sin^2(\beta_1\omega_m L) \right]$$

【0 0 2 0】

この式は、上述の近似で導いた場合と同様に、Nを正の整数として、数 1 3 の変調周波数で、極小値を取ることが分かる。この様に、2種類の近似方法で、同じ結果が得られた。図 2 に、この  $P_o$  についての計算結果を示す。図 2 における、位相変調の変調度は、 $M_1 = 0.3$ 、 $M_2 = 0.2$  および、 $M_1 = 1.8$ 、 $M_2 = 1.4$  の 2 種類である。フリンジの形は、正弦関数の形から少しずれているが、極大点、あるいは極小点に対応する変調周波数が変わらないことが分かる。従って、数 1 2、1 3、および 1 4 は、位相変調度に依存せずに、広い範囲で用いる事ができることが分かる。

【0 0 2 1】

また、上の説明では群速度分散の方法について説明を行ったが、光ファイバーの長さの測定にも図 1 に示した干渉計を用いることができる。数 1 2 から光ファイバーの長さは、次の式で表わすことができる。

【数 1 9】

$$L = \frac{1}{\beta_1 f_c} = \frac{C}{f_c N_g}$$

ここで、Cは光速であり、 $N_g$ は光の屈折率である。変調周波数をスキャンし、出力に見られる干渉フリンジから  $f_c$  の値を導けば、光ファイバーの長さLを求

めることができる。数 1 1 から分るように、変調周波数をスキャンさせた場合、光強度の長時間の平均  $P_0$ 、は図 2 に示されているような正弦関数に類似した干渉フリンジが見られる。時計周り及び反時計周りに対する変調度が同じである場合 ( $M_1 = M_2$ )、干渉フリンジで出力光は周期的に特定の変調周波数において近似的にゼロになる。しかし、2 つの方向に対する変調度が異なる場合では、干渉フリンジ上最小出力光はゼロまで下らない。

## 【0 0 2 2】

従って、課題を解決するための手段は、以下のように挙げることができる。まず、請求項 1 に記載の発明は、上記した原理に基づく構成であり、上記の目的を達成するために、光発生手段と、該光発生手段からの光を光分岐器の第一端子へ入射する手段と、該光分岐器の第一端子より入力した光を、光分岐器の第三端子および第四端子に出力する手段と、該第三端子および第四端子を結ぶ概略単一の光路と、該光路を通る該第三端子から第四端子へ向かう光と、該光路を通る該第四端子から第三端子へ向かう光とを変調する光変調手段と、上記の変調された第三端子から第四端子へ向かう光と第四端子から第三端子へ向かう光とを光分岐器の第二端子に出力する手段と、該第二端子から出力された光の光強度を検出する手段と、上記の光変調の変調周波数の周期関数として上述の光強度を変調周波数に関連付ける手段と、を有することを特徴としている。

## 【0 0 2 3】

また、請求項 2 に記載の発明は、光の群速度分散を得るために、上記した請求項 1 に記載の発明の構成に加えて、波長を変えることのできる光発生手段を備えた事を特徴としている。

## 【0 0 2 4】

また、請求項 3 に記載の発明は、偏波調整することによって干渉フリンジの視認性を向上し、しかも光路に偏波保持光ファイバーを使う必要を無くして測定しやすくするために、上記した請求項 1 に記載の発明の構成に加えて、第三端子から第四端子へ向かう光を調整する第一の偏波調整手段と、該第四端子から第三端子へ向かう光を調整する第二の偏波調整手段とを備えたことを特徴としている。

## 【0 0 2 5】

また、請求項 4 に記載の発明は、被測定物を交換できるようにする構成とするために、上記した請求項 1 に記載の発明の構成に加えて、光路の一部に、被測定物を配置した構成であることを特徴としている。

【 0 0 2 6 】

また、請求項 5 に記載の発明は、光分散測定装置における被測定物以外の部分をガス中あるいは減圧したガス中に設置して、その部分における分散を無視できるほど小さくして測定するために、上記した請求項 1 に記載の発明の構成に加えて、光路の一部が光反射手段により構成されていることを特徴としている。

【 0 0 2 7 】

また、請求項 6 に記載の発明は、被測定物までの距離を測定するために、上記した請求項 1 に記載の発明の構成に加えて、光路の一部に配置された被測定物に光反射手段を配置した構成としたことを特徴としている。

【 0 0 2 8 】

また、請求項 7 に記載の発明は、請求項 1、2、3、4、5 あるいは 6 に記載の光分散測定装置の光路に、90 度ファラデー回転子を設けることにより、光分岐器の第二端子からの光の出力を、光が変調を受けた時よりも変調を受けないときの方が大きくならしめるか、あるいは、光が変調を受けた時よりも変調を受けないときの方が小さくならしめるかしたことを特徴としている。

【 0 0 2 9 】

また、請求項 8 に記載の発明は、上記した原理に基づく測定方法を提案するものであり、光発生手段により光を発生させ、該光発生手段からの光を光分岐器の第一端子へ入射し、該光分岐器の第一端子より入力した光を、光分岐器の第三端子および第四端子に出力し、該第三端子から出力された光と、第四端子から出力された光を概略単一の光路に、進行方向を互いに逆に導き、該光路を通る該第三端子から第四端子へ向かう光と、該光路を通る該第四端子から第三端子へ向かう光とを変調し、上記の変調された第三端子から第四端子へ向かう光と第四端子から第三端子へ向かう光とを光分岐器の第二端子に出力し、該第二端子から出力された光の光強度を検出し、上記の光変調による変調周波数と、第二端子から出力された光の光強度の関係において周期性を見出し、該周期性の、第一端子より入

力した光の波長に対する依存性から、上記の光路の波長分散特性を取得することを特徴としている。

## 【 0 0 3 0 】

また、請求項 9 に記載の発明は、光分散測定装置によって被測定物の長さを測定するために、光発生手段により光を発生させ、該光発生手段からの光を光分岐器の第一端子へ入射し、該光分岐器の第一端子より入力した光を、光分岐器の第三端子および第四端子に出力し、該第三端子から出力された光と、第四端子から出力された光を概略単一の光路に、進行方向を互いに逆に導き、該光路を通る該第三端子から第四端子へ向かう光と、該光路を通る該第四端子から第三端子へ向かう光とを変調し、上記の変調された第三端子から第四端子へ向かう光と第四端子から第三端子へ向かう光とを光分岐器の第二端子に出力し、該第二端子から出力された光の光強度を検出し、上記の光変調による変調周波数と、第二端子から出力された光の光強度の関係において周期性を見出し、その周期性を用いて、上記の光路の光路長を見出すことを特徴としている。

## 【 0 0 3 1 】

また、請求項 1 0 に記載の発明は、光路長の微細な変化を測定するために、該光発生手段からの光を光分岐器の第一端子へ入射し、該光分岐器の第一端子より入力した光を、光分岐器の第三端子および第四端子に出力し、該第三端子から出力された光と、第四端子から出力された光を概略単一の光路に、進行方向を互いに逆に導き、該光路を通る該第三端子から第四端子へ向かう光と、該光路を通る該第四端子から第三端子へ向かう光とを、上記の光変調による変調周波数と、第二端子から出力された光の光強度の関係において見出される周期性の周期以上の周波数を持つ信号で変調し、上記の変調された第三端子から第四端子へ向かう光と第四端子から第三端子へ向かう光とを光分岐器の第二端子に出力し、該第二端子から出力された光の光強度を検出し、上記の光変調による変調周波数と、第二端子から出力された光の光強度の関係において周期性を見出し、その周期性の光の波長および上記の光路の光路長に対する依存性を、上記の光路の光路長の変化に換算することを特徴としている。

## 【 0 0 3 2 】

## 【発明の実施の形態】

以下にこの発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。先ず第1の実施形態を、図3を用いて説明する。図3における光分散測定装置300では、光源として波長可変単一モードレーザー光源306と、反射光のレーザーへの戻りを防止するための光アイソレータ307と、光の偏波を調整するための偏波調整器308と、309と、光を分岐するための4端子光分岐器302と、変調を行うための光位相変調器305と、変調信号を発生する電気発振器312と、ファイバーコネクタ310、311と、リング状の光分散測定装置光路用ファイバー304と、測定される光ファイバー303と、光分散測定装置の出力光を測定するための光検出器301と、データを処理するためのデータ処理装置350とから構成されている。測定される光ファイバー303の片側は光変調器と、もう一方は偏波調整器2と光学的に結合されている。光源306、アイソレータ307、光分岐器302、偏波調整器308、309及び光変調器305は、光ファイバー304を介して結合されている。偏波調整器309は光分岐器302の端子4と測定される光ファイバー303の間に置く代わりに、光変調器305と測定される光ファイバー303の間に置くことも可能である。

## 【0033】

より具体的には、光源306として、外部共振型波長可変な半導体レーザー（PHOTONETICS 社、モデル：TUNICS-BT、帯域：1.50～1.58  $\mu\text{m}$ ）のものを利用入て2.5 nm波長間隔において変調周波数をスキャンし、出射光のフリンジをプロットした。また、光分岐器302は、4端子の光分岐器（住友大阪セメント製）で、端子1から入力された光を端子3と4に均等に分岐するものである。偏波調整器308、309は、ディスク型の偏波調整器（IDEA DEVELOPMENT 社、モデル：MPC 1000）である。変調器305は、8 GHz帯域を持つ光位相変調器（UTP社）で、この変調器の光ファイバーピグテイル（Pigtail）は偏波保持型であった。この光位相変調器と、3 GHz周波数付近のスィプ機能を持つ高周波信号発振器（HEWLETT PACKARD 社、モデル：83620A）を用いて、3.0 GHzから3.001 GHzの周波数範囲をスキャンし、フリンジを測定した。

さらに、出射光を測定するための光検出器 3 0 1 は、帯域幅 = 1 2 5 M H z (N E W F O C U S 社、モデル : 1 8 1 1) のものである。

#### 【 0 0 3 4 】

測定結果の一例を図 1 1 に示す。測定される光ファイバーとしてフジクラ製のシングルモード光ファイバー (S M F) で長さ 1 k m のものを使用した。位相変調の変調度は、 $M 1 = 1.65$ 、 $M 2 = 0.9$  である。図 1 1 では、波長 1 5 4 5 n m、1 5 5 0 n m および 1 5 5 5 n m、の 3 種類の入射光の場合について、3 0 0 0 M H z から 3 0 0 1 M H z まで変調周波数を掃引した時の光分散測定装置からの出力パワーを、周波数の関数として示したものである。上記位相変調の掃引時間は、1 0 0 ミリ秒である。この構成においては、光が変調されない場合、干渉計からの出力パワーは殆ど無い。ここで、数 1 3 における N の値が同じ極点に当たる点に黒丸を付した。この測定結果から、正弦波的なフリンジが得られ、光の波長に依存してこのフリンジがシフトすることが分かる。波長 = 1 5 5 0 n m においては、光出力変動の変調周波数に対する変動周期は、1 9 9 k H z であり、また、入射光の波長が 1 5 4 5 n m から 1 5 5 5 n m に変化したときのフリンジのシフトは - 9 8 k H z であった。この結果から、数 1 4 を用いて、中心波長 = 1 5 5 0 n m における群速度分散として、 $D = 16.41 \text{ p s} / \text{n m} / \text{k m}$  が得られた。これは、他の位相シフト法による測定値  $D = 16.65 \text{ p s} / \text{n m} / \text{k m}$  と非常によく一致しており、正しく測定されていることが分かる。

#### 【 0 0 3 5 】

以上説明した様に、従来のパルス遅延法、位相シフト法またはベースバンドエーエムレスポンス (B a s e b a n d A M R e s p o n s e) 法を用いて群速度を測定する際、広い周波数帯域 (数 G H z から数十 G H z) を持つ光検出器やオシロスコープやネットワークアナライザなどが必要であったが、本発明の光分散測定装置の主な構成要素は、波長可変な半導体レーザー、ディスク型の偏波調整器、光位相変調器、電気発振器、光検出器、データ処理装置であり、従来の装置に比べ簡単な構成の装置になっており、光分散測定装置のコストを削減できた。

#### 【 0 0 3 6 】

以上の説明では、光変調器として光位相変調器を用いたが、位相変調の代わりに強度変調を行なっても、位相変調と同様のサイドバンドを得ることができることから、光位相変調器の代わりに強度変調器を用いることも可能である。また、周波数変調器を用いて変調しても良く、例えば、一次回折を利用した音響光学変調器（すなわち、音響光学周波数シフター）を用いることも可能である。この場合、音響光学変調器への電気信号の周波数をスキャンすれば、出力光では同じく干渉フリンジが見られる。さらに、光の波長を変えた場合、光ファイバーの群速度分散の影響でフリンジがシフトすることになる。 $L$ を光ファイバー長、 $f_0$ をシフターに加える電気信号の周波数、波長の微小変化 $\Delta L$ だけ変化したことに対して周波数軸上で干渉フリンジのシフトが $\Delta f_0$ であれば、群速度分散を、数 1 4 の関係を用いて得ることができる。

## 【 0 0 3 7 】

また、上記の説明では、光分岐器として端子 3 と 4 に 1 : 1 の割合で光強度を分岐するものであった。本発明の光分散測定装置では、この割合のものが最適であるが、他の分岐率を持つものを利用した場合でも、上記のフリンジが観測できるものであれば、この方法が適用できることは明らかである。

## 【 0 0 3 8 】

次に、第二の実施形態を図 4 に示す。図 4 に示す光分散測定装置 4 0 0 は、主に、光源として波長可変単一モードレーザー光源 4 0 6、反射光のレーザーへの戻りを防止するための光アイソレータ 4 0 7、光の偏波を調整するための偏波調整器 4 0 9、光を分岐するための 4 端子偏波保持型光分岐器 4 0 2、変調を行うための光位相または強度変調器 4 0 5、変調信号を発生する電気発振器 4 1 2、ファイバーコネクタ 4 1 0、4 1 1、リング状の光分散測定装置光路用ファイバー 4 0 4、測定される光ファイバー 4 0 3、光分散測定装置の出力光の検波用光検出器 4 0 1 で構成されている。測定される光ファイバー 4 0 3 の片側は光変調器 4 0 5 と、もう一方は偏波調整器 4 0 9 と光学的に結合する。電気発振器 4 1 2 は変調器 4 0 5 の駆動のため用いる。光源 4 0 6、アイソレータ 4 0 7、光分岐器 4 0 2、及び光変調器 4 0 5 は偏波保持型光ファイバー 4 0 4 を介し結合されている。偏波調整器 4 0 9 は光分岐器 4 0 2 の端子 4 と測定される光ファイ



バー 403 の間に置くかわりに、光変調器 405 と測定される光ファイバー 403 の間に置くことも可能である。

#### 【0039】

この第二の実施形態における構成は、上記の第一の実施形態における構成と比較して、偏光保持光分岐器 402 と 1 つの偏波調整器 409 と偏波保持光ファイバー 404 を用いている点に特徴があり、偏波調整器の数を減らすことができる構成である。

#### 【0040】

次に、第三の実施形態を図 5 に示す。図 5 に示す光分散測定装置 500 は、主に、光源として波長可変単一モードレーザー光源 506、反射光のレーザーへの戻りを防止するためのバルク型の光アイソレータ 507、光の偏波を調整するためのバルク型の偏波調整器 509、光を 2 つの成分に分岐するためのビームスプリッタ 520、変調を行うためのバルク型の光位相または強度変調器 505、変調信号を発生する電気発振器 512、測定される光ファイバー 503、光分散測定装置の出力光の検波用光検出器 501 で構成されている。光源 506、アイソレータ 507、ビームスプリッタ 520、光変調器 505、偏波調整器 509 を結合する光路 504 は空気中に配置されている。変調器 505 から出射する時計周りの光は光ファイバーケーブル 511 を用いて測定される光ファイバー 503 に入射する。偏波調整器 509 から出射する反時計回りの光は光ファイバーケーブル 510 を用いて測定される光ファイバー 503 のもう一方の端子に入射する。偏波調整器 509 はビームスプリッタ 520 と測定される光ファイバー 503 の間に置く代わりに、光変調器 505 と測定される光ファイバー 503 の間に置くことも可能である。また、光位相変調器 505 は、第一の実施形態の場合と同様に、位相変調の代わりに強度変調を行なっても、位相変調と同様のサイドバンドを得ることができることから、光位相変調器の代わりに強度変調器を用いることも可能である。

#### 【0041】

この第三の実施形態の特徴は、光路 504 を空気中に設けることにより、この部分の分散特性をほぼ無視できることにある。

## 【 0 0 4 2 】

上記の第一、第二、および第三実施形態に示した構成では、光ファイバーの分散を測定する際に測定される光ファイバーの両端を測定器まで持ってくる必要がある。ところが、すでに敷設されている光ファイバーの場合には、片端しか測定器につなぐ事が出来ない場合が多い。この様な場合は、上記の実施形態で示した測定装置構成では、測定が困難である。この困難を解決するためのひとつの方法として、図 6 に示す第四の実施形態がある。図 6 は、被測定物の一端に光反射手段であるファラデー回転子ミラーを設ける事によって、測定器に光ファイバーの一端のみを接続して測定する様にした構成を示す図である。

## 【 0 0 4 3 】

図 6 に示す光分散測定装置 6 0 0 では単一モードレーザ光源 6 0 6、偏波保持型光アイソレータ 6 0 7、偏波保持型光分岐器 6 0 2、偏波保持型光位相または強度変調器 6 0 5 を利用し、これらを偏波保持型の光ファイバー 6 0 4 を用いて光学主軸を合わせて接続する。また、光変調器 6 0 5 は偏波面ビームスプリッタ 6 2 8 の一つ目の光ファイバー端子 5 と光学主軸を合わせ接続する。分岐器 6 0 2 の端子 4 は偏波面ビームスプリッタ 6 2 8 の二つ目の光ファイバー端子 6 と光学主軸を 9 0 度回した状態での接続（融着） 6 2 1 する。ビームスプリッタ 6 2 8 の三つの光ファイバー端子 7 は光ファイバーコネクタ 6 1 0 を用いて測定される光ファイバー 6 0 3 と光学接続する。測定される光ファイバー 6 0 3 のもう一方の端子はファラデー回転子ミラー 6 3 0 と光学接続する。このような構造上では、光分岐器 6 0 2 によって分岐される時計回り及び反時計回り両方の光成分は、偏波面ビームスプリッタ 6 2 8 によって測定される光ファイバー 6 0 3 中を一往復し、再び光分岐器 6 0 2 の端子 4 及び端子 3 に戻ることになる。時計回りの光成分は変調を受けてから測定される光ファイバー 6 0 3 を往復するのに、反時計回りの光成分は測定される光ファイバー 6 0 3 を往復した後、変調を受けることになる。したがって、この構成においては、測定される光ファイバー 6 0 3 の長さは  $L$  である場合にその光路は実質上  $2 \times L$  となる。ここで、測定される光ファイバー 6 0 3 の長さ  $L$  は光分散測定装置リングの他の部分より十分長ければ、群速度分散は、数 2 0 で表される。

【数 2 0】

$$D = \frac{\Delta\beta_1}{\Delta\lambda} = \frac{-1}{2Lf_0f_c} \cdot \frac{\Delta f_0}{\Delta\lambda}$$

また、変調器 6 0 5 は光分岐器 6 0 2 の端子 3 と偏波面ビームスプリッタ 6 2 8 の間に置くかわりに光分岐器 6 0 2 の端子 4 と 9 0 度接続（融着）2 1 の間にも置くことも可能である。この場合、反時計回りの光は時計回りの光より先に変調を受けることになる。

【0 0 4 4】

図 6 に示した構成では光変調器 6 0 5 により光が変調されていない場合の偏波保持型光分岐器 6 0 2 の第二端子からの光出力は、ほぼ入射された光が光路の損失を受けるのみで、変調によりフリンジが出現するが、光学主軸を 9 0 度回した状態での接続（融着）6 2 1 を図 1 2 に示す光回路で置きかえる事により、光変調器 6 0 5 により光が変調されていない場合の偏波保持型光分岐器 6 0 2 の第二端子からの光出力を、相対的に大から相対的に小に、あるいはその逆に切り替えることができる。

【0 0 4 5】

図 1 2 (a) に示した様に、半波長板の光学軸が偏波に対して平行あるいは直角である場合は、半波長板の回転の効果がない。したがって、光変調器 6 0 5 により光が変調されていない場合でも偏波保持型光分岐器 6 0 2 の第二端子から光が出力される。

【0 0 4 6】

また、図 1 2 (b) に示した様に、半波長板の光学軸が偏波に対して 4 5 度である場合は、半波長板は光の偏波を 9 0 度回転する。このとき、図 1 2 (b) のポート 2 から入射した CCW の光の横偏波は半波長板とファラデー回転子とで 2 回、偏波の回転を受け、光分散測定装置 6 0 0 のリングに含まれている偏波面ビームスプリッタ 6 2 8 によって消滅してしまう。しかし、図 1 2 (b) のポート

1 から入射する CW の光の縦偏波は、ファラディ素子、及び半波長板を通過した後、また縦偏波となり、偏波保持型光分岐器 6 0 2 の第二端子から出力する。この出力は、上記の様に CCW の光部分がすでに消えているので、干渉せずに、一定の強度で出力され、これは、変調を加えても変わらない。この様に、半波長板を回転することにより、容易に、光変調器 6 0 5 により光が変調されていない場合の偏波保持型光分岐器 6 0 2 の第二端子からの光出力を、相対的に大から相対的に小に、あるいはその逆に切り替えることができる。このような装置によれば、光路の欠陥をすばやく見つけることが可能となり、また、光の検出感度が損なわれることがない。

【 0 0 4 7 】

次に第五の実施形態として、図 7 に示した光分散測定装置 7 0 0 を説明する。この光分散測定装置 7 0 0 の特徴は、上記の第四の実施形態に類似の構成であるが、光の入射、出射が共に空間であるバルク型の光位相または強度変調器 7 0 5 を用いている点と、光路の一部が空気中に設置されている点である。また、アイソレータ 7 0 7 としてバルク型のもの、変調器としてバルク型の光位相または強度変調器 7 0 5、バルク型のビームスプリッタ 7 2 9 及びバルク型の偏波面ビームスプリッタ 7 2 8 を用いている点にも特徴がある。これらの素子を接続する光路 7 0 4 は空気中に設置される。図 4 で示した 9 0 度接続（融着）の効果と同様の効果を得るために、この実施形態においてもバルク型の半波長板 7 2 7 を用いる。さらに、ビームスプリッタ 7 2 9 からの光を測定される光ファイバー 7 0 3 に入れるため光ファイバーカプラー 7 1 0 を用いる。変調器 7 0 5 はビームスプリッタ 7 2 9 と半波長板 7 2 7 の間に置くことも可能である。この場合、反時計回りの光は時計回りの光より先に変調を受けることになる。この構成 7 0 0 における、利点としては、空気中の光路 7 0 4 は、光ファイバーによる通信に用いられる光の波長域においては、殆ど分散を示さず、この光路の分散を無視する事ができる点である。

【 0 0 4 8 】

以上の実施形態では、群速度分散を測定するものであったが、本発明の光分散測定装置の測定方法とほぼ同様の測定方法により、光ファイバーの長さや、離れ

た物体までの距離測定にも利用できる。この測定方法を用いた実施形態について以下に説明する。

#### 【0049】

次に、第六の実施形態として、図8に示した距離を測定するための光分散測定装置800を説明する。光分散測定装置800は主に、光源として波長可変単一モードレーザー光源806、反射光のレーザーへの戻りを防止するためのバルク型の光アイソレータ807、光を2つの成分に分岐するためのビームスプリッタ829、変調を行うためのバルク型の（位相あるいは強度）光変調器805、光を反射するためのレトロリフレクター840、光分散測定装置の出力光の検波用光検出器801から構成されている。光源806、アイソレータ807、ビームスプリッタ829、光変調器805、を結合する光路804は空気中に設置されている。時計周り及び反時計周りの光ビームはお互い平行状態で物体まで伝搬し、物体の位置においたレトロリフレクター840を用いて再び戻し、リング干渉計である光分散測定装置800を構成する。

#### 【0050】

この構成で、物体までの距離Lは、次の様にして求めることができる。距離Lが上記のリング干渉計の他の部分より十分長いのであれば、Cを空気中での光の速度として、長さLは以下の数式から求められる。

#### 【数21】

$$L = \frac{1}{2\beta_1 f_c} = \frac{C}{2f_c}$$

(41)

従って、変調周波数をスキャンして得られる干渉フリンジからフリンジの周期 $f_c$ を求めれば、距離Lの測定が可能となる。

#### 【0051】

次に、第七の実施形態として、図9に示した距離を測定するための光分散測定装置900を説明する。光分散測定装置900では主に、単一モードレーザー光源906、偏波保持型光アイソレータ907、偏波保持型光分岐器902、偏波

保持型光位相あるいは強度変調器 9 0 5 を利用し、偏波保持型の光ファイバー 9 0 4 を用いて光学主軸を合わせて接続する。また、光変調器 9 0 5 は偏波面ビームスプリッタ 9 2 8 の一つ目のファイバー片端子 5 と光学主軸を合わせ接続する。分岐器 9 0 2 の端子 4 は偏波面ビームスプリッタ 9 2 8 の二つ目の光ファイバー端子 6 と光学主軸を 9 0 度回した状態での接続（融着） 9 2 1 する。ビームスプリッタ 9 2 8 の三つ目の光ファイバー端子 7 からの光を平行光線にするためレンズ 9 2 2 を用いてコリメートして物体まで伝搬させ、物体の位置におかれたファラデー回転子ミラー 9 3 0 によって反射させ、再びレンズ 9 2 2 に戻す。このような構造上では、光分岐器 9 0 2 によって分岐される時計回り及び反時計回り両方の光成分は偏波面ビームスプリッタ 9 2 8 によって物体まで一回往復を行い、再び光分岐器 9 0 2 の端子 4 及び端子 3 に戻ることになる。物体までの距離  $L$  はリング干渉計である光分散測定装置 9 0 0 の他の部分より十分長いのであれば、距離  $L$  は、数(2)により求めることができる。また、変調器 9 0 5 は光分岐器 9 0 2 の端子 3 と偏波面ビームスプリッタ 9 2 8 の間に置く代わりに光分岐器 9 0 2 の端子 4 と 9 0 度接続（融着） 9 2 1 の間にも置くことも可能である。この場合、反時計回りの光は時計回りの光より先に変調を受けることになる。

#### 【 0 0 5 2 】

この実施形態で、距離を計測する利点は、時計回りに伝搬する光と、反時計回りに伝搬する光とが、交じり合うことが無いため、実施例 6 の方法に比べて、干渉フリンジを容易に得ることができる点にある。

#### 【 0 0 5 3 】

次に、距離を測定するための第八の実施形態を、図 1 0 に示す。図 1 0 の干渉計である光分散測定装置 1 0 0 0 のようにバルク型の光素子を用いても本発明の光分散測定装置を構成することは可能である。光分散測定装置 1 0 0 0 において、アイソレータ 1 0 0 7 としてバルク型のもの、変調器としてバルク型の光位相または強度変調器 1 0 0 5、バルク型のビームスプリッタ 1 0 2 9 及びバルク型の偏波面ビームスプリッタ 1 0 2 8 を用いる。これらの素子を接続する光路 1 0 0 4 は空気中に設けられている。図 4 で示した 9 0 度接続（融着）と同様の効果を得るためにバルク型の半波長板 1 0 2 7 を用いる。ビームスプリッタ 1 0 2

8の端子7からの光はレンズ1024を用いてコリメートし物体まで伝搬させ、物体の位置におかれたファラデー回転子ミラー1030によって反射させ再び装置に戻す。物体までの距離Lは、リング干渉計である光分散測定装置1000の他の部分より十分長いのであれば、距離Lは、数21により求めることができる。また、変調器1005はビームスプリッタ1029と半波長板1027の間に置くことも可能である。この場合、反時計回りの光は時計回りの光に比べて先に変調を受けることになる。この実施形態の利点は、上記第七の実施形態の利点と同様に、実施例6の方法に比べて、干渉フリンジを容易に得ることができる点にある。

【0054】

次に第九の実施形態として、距離の変化を測定する例について述べる。図1の構成では、数21から、距離の変化は、次の式で表されることが分かる。

【数22】

$$\Delta L = -\frac{N}{2f_o^2\beta_1}\Delta f_o = -\frac{1}{2f_o\beta_1}\left(\frac{\Delta f_o}{f_c}\right)$$

空気中では、概略 $\beta_1 = 1/C$ であり、上記のNを大きくとって、つまり変調周波数を非常に高くとって変調することにより、 $\Delta L$ を非常に小さくできる。例えば、 $\Delta f_o/f_c = 1/100$ を検知することは容易であるから、3GHzで位相変調する場合、 $\Delta L$ として0.5mmの検出が可能である。変調周波数に反比例して、検出可能な $\Delta L$ を小さくすることができる。この方法における利点は、検出可能な $\Delta L$ の大きさはLの大きさによらない点である。従って、原理的には長距離になるほど精度が向上し、例えば10kmの距離を計測する場合は、 $5 \times 10^{-8}$ の精度になる。

【0055】

また、通常の測距儀において用いられているものと同様に、複数の変調周波数で測定し、その結果を組み合わせることによっても、本発明の測定精度を向上す

ることは容易である。

〔上記の様に、本発明の方法により、高価な測定装置を用いることなく、距離、あるいは距離の変化を精度良く計測できるようになった。〕

【0056】

【発明の効果】

この発明は上記した構成からなるので、以下に説明するような効果を奏することができる。

【0057】

請求項1に記載の発明では、光発生手段と、該光発生手段からの光を光分岐器の第一端子へ入射する手段と、該光分岐器の第一端子より入力した光を、光分岐器の第三端子および第四端子に出力する手段と、該第三端子および第四端子を結ぶ概略単一の光路と、該光路を通る該第三端子から第四端子へ向かう光と、該光路を通る該第四端子から第三端子へ向かう光とを変調する光変調手段と、上記の変調された第三端子から第四端子へ向かう光と第四端子から第三端子へ向かう光とを光分岐器の第二端子に出力する手段と、該第二端子から出力された光の光強度を検出する手段と、上記の光変調の変調周波数の周期関数として上述の光強度を変調周波数に関連付ける手段と、を有することを特徴とする構成にしたので、従来のパルス遅延法、位相シフト法またはベースバンドエーエムレスポンス (Baseband AM Response) 法を用いて群速度を測定する際、広い周波数帯域 (数GHzから数十GHz) を持つ光検出器やオシロスコープやネットワークアナライザなどが必要であったが、本発明の光分散測定装置の主な構成要素は、波長可変な半導体レーザー、ディスク型の偏波調整器、光位相変調器、電気発振器、光検出器であり、従来の装置に比べ簡単な構成の装置になっており、光分散測定装置のコストを削減できた。

【0058】

また、請求項2に記載の発明では、請求項1に記載の光分散測定装置において、波長を変えることのできる光発生手段を備えた事を特徴とする構成にしたので、群速度分散を測定できるようになった。

【0059】



さらに、請求項 3 に記載の発明では、請求項 1 に記載の光分散測定装置において、第三端子から第四端子へ向かう光を調整する第一の偏波調整手段と、該第四端子から第三端子へ向かう光を調整する第二の偏波調整手段とを備えたことを特徴とする構成にしたので、光路に偏波保持光ファイバーを使う必要がなくなった。

## 【 0 0 6 0 】

さらに、請求項 4 に記載の発明では、請求項 1 に記載の光路の一部に、被測定物を配置した構成であることを特徴とする構成にしたので、被測定物を交換することができるようになった。

## 【 0 0 6 1 】

さらに、請求項 5 に記載の発明では、請求項 1 に記載の光路の一部が光反射手段により構成されていることを特徴とする構成にしたので、干渉計における被測定物以外の部分をガス中あるいは減圧したガス中に設置することができるようになり、干渉計における被測定物以外の分散を無視できるほど小さくして測定することができるようになった。

## 【 0 0 6 2 】

さらに、請求項 6 に記載の発明では、請求項 1 に記載の光路の一部に配置された被測定物に光反射手段を配置した構成としたことを特徴とする構成にしたので、距離の測定ができるようになった。

## 【 0 0 6 3 】

さらに、請求項 7 に記載の発明では、請求項 1、2、3、4、5 あるいは 6 に記載の光分散測定装置の光路に、90 度ファラデー回転子を設けることにより、光分岐器の第二端子からの光の出力を、光が変調を受けた時よりも変調を受けないときの方が大きくならしめるか、あるいは、光が変調を受けた時よりも変調を受けないときの方が小さくならしめるかしたことを特徴とする構成にしたので、光分岐器の第二端子からの光の出力を、光が変調を受けていないときの光分岐器の第二端子からの光の出力を、相対的に大と、相対的に小とから選択できる様になった。

## 【 0 0 6 4 】

さらに、請求項 8 に記載の発明では、光発生手段により光を発生させ、

該光発生手段からの光を光分岐器の第一端子へ入射し、該光分岐器の第一端子より入力した光を、光分岐器の第三端子および第四端子に出力し、該第三端子から出力された光と、第四端子から出力された光を概略単一の光路に、進行方向を互いに逆に導き、該光路を通る該第三端子から第四端子へ向かう光と、該光路を通る該第四端子から第三端子へ向かう光とを変調し、上記の変調された第三端子から第四端子へ向かう光と第四端子から第三端子へ向かう光とを光分岐器の第二端子に出力し、該第二端子から出力された光の光強度を検出し、上記の光変調による変調周波数と、第二端子から出力された光の光強度の関係において周期性を見出し、該周期性の、第一端子より入力した光の波長に対する依存性から、上記の光路の波長分散特性を取得することを特徴とする測定方法にしたので、波長可変な半導体レーザー、ディスク型の偏波調整器、光位相変調器、電気発振器、光検出器を主な構成要素とする本発明の光分散測定装置によって、群速度分散を測定することができるようになり、従来の装置による測定に比べ、コストを削減できた。

#### 【 0 0 6 5 】

さらに、請求項 9 に記載の発明では、光発生手段により光を発生させ、該光発生手段からの光を光分岐器の第一端子へ入射し、該光分岐器の第一端子より入力した光を、光分岐器の第三端子および第四端子に出力し、該第三端子から出力された光と、第四端子から出力された光を概略単一の光路に、進行方向を互いに逆に導き、該光路を通る該第三端子から第四端子へ向かう光と、該光路を通る該第四端子から第三端子へ向かう光とを変調し、上記の変調された第三端子から第四端子へ向かう光と第四端子から第三端子へ向かう光とを光分岐器の第二端子に出力し、該第二端子から出力された光の光強度を検出し、上記の光変調による変調周波数と、第二端子から出力された光の光強度の関係において周期性を見出し、その周期性を用いて、上記の光路の光路長を見出すことを特徴とする測定方法にしたので、距離の測定ができるようになった。

#### 【 0 0 6 6 】

さらに、請求項 1 0 に記載の発明では、該光発生手段からの光を光分岐器の第

一端子へ入射し、該光分岐器の第一端子より入力した光を、光分岐器の第三端子および第四端子に出力し、該第三端子から出力された光と、第四端子から出力された光を概略単一の光路に、進行方向を互いに逆に導き、該光路を通る該第三端子から第四端子へ向かう光と、該光路を通る該第四端子から第三端子へ向かう光とを、上記の光変調による変調周波数と、第二端子から出力された光の光強度の関係において見出される周期性の周期以上の周波数を持つ信号で変調し、上記の変調された第三端子から第四端子へ向かう光と第四端子から第三端子へ向かう光とを光分岐器の第二端子に出力し、該第二端子から出力された光の光強度を検出し、上記の光変調による変調周波数と、第二端子から出力された光の光強度の関係において周期性を見出し、その周期性の光の波長および上記の光路の光路長に対する依存性を、上記の光路の光路長の変化に換算することを特徴とする光分散測定装置の測定方法にしたので、距離の変化測定が高精度でできるようになった。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の提案する新しい光分散測定方法の動作概念示す図である。

【図 2】

本発明の提案する新しい光分散測定およびその測定方法により得られる光強度と変調周波数との関係の数値計算結果の一例を示す図である。

【図 3】

第一の実施形態を説明するための図である。

【図 4】

第二の実施形態を説明するための図である。

【図 5】

第三の実施形態を説明するための図である。

【図 6】

第四の実施形態を説明するための図である。

【図 7】

第五の実施形態を説明するための図である。

【図 8】

第六の実施形態を説明するための図である。

【図 9】

第七の実施形態を説明するための図である。

【図 1 0】

第八の実施形態を説明するための図である。

【図 1 1】

本発明の構成による、光ファイバについての測定結果を示す図である。

【図 1 2】

光変調器 6 0 5 により光が変調されていない場合の偏波保持型光分岐器 6 0 2 の第二端子からの光出力を、相対的に大から相対的に小に、あるいはその逆に切り替える構成を示す図であり、(a) は、半波長板を一端に回転した図で、(b) は、半波長板を他端に回転した図である。

【符号の説明】

- 1 0 光分散測定装置
- 1 1 光検出器
- 1 2 光分岐器
- 1 3 測定される光ファイバー
- 1 4 リング状光路
- 1 5 光変調器
- 1 6 波長可変単一モードレーザー光源
- 5 0、3 5 0、4 5 0、5 5 0、5 5 0、6 5 0、7 5 0、8 5 0、9 5 0
- 、1 0 5 0 データ処理装置
- 3 0 0 光分散測定装置
- 3 0 1 光検出器
- 3 0 2 4 端子光分岐器
- 3 0 3 測定される光ファイバー
- 3 0 4 リング状干渉計光路用ファイバー
- 3 0 5 光位相変調器

- 306 波長可変単一モードレーザー光源
- 307 光アイソレータ
- 308、309 偏波調整器
- 310、311 ファイバーコネクタ
- 312 電気発振器
- 400 光分散測定装置
- 401 光検出器
- 402 4端子偏波保持型光分岐器
- 403 測定される光ファイバー
- 404 リング状干渉計光路用ファイバー
- 405 光位相あるいは強度変調器
- 406 波長可変単一モードレーザー光源
- 407 光アイソレータ
- 409 偏波調整器
- 410、411 ファイバーコネクタ
- 412 電気発振器
- 500 光分散測定装置
- 501 光検出器
- 503 測定される光ファイバー
- 504 空気中に設置された光路
- 505 バルク型の光位相変調器
- 506 波長可変単一モードレーザー光源
- 507 バルク型の光アイソレータ
- 509 バルク型の偏波調整器
- 510、511 ファイバーカプラー
- 512 電気発振器
- 520 ビームスプリッタ
- 522、523 レンズ
- 600 光分散測定装置

- 6 0 1 光検出器
- 6 0 2 偏波保持型光分岐器
- 6 0 3 測定される光ファイバー
- 6 0 4 偏波保持型の光ファイバー
- 6 0 5 偏波保持型光位相あるいは強度変調器
- 6 0 6 波長可変単一モードレーザー光源
- 6 0 7 偏波保持型光アイソレータ
- 6 1 0 ファイバーコネクタ
- 6 1 2 電気発振器
- 6 2 1 光学主軸を 9 0 度回した状態での接続（融着）
- 6 2 8 偏波面ビームスプリッタ
- 6 3 0 ファラデー回転子ミラー
- 7 0 0 光分散測定装置
- 7 0 1 光検出器
- 7 0 3 測定される光ファイバー
- 7 0 4 空気中に設置された光路
- 7 0 5 バルク型光位相あるいは強度変調器
- 7 0 6 波長可変単一モードレーザー光源
- 7 0 7 バルク型アイソレータ
- 7 1 0 光ファイバーカプラー
- 7 1 2 電気発振器
- 7 2 2、7 2 3 レンズ
- 7 2 5、7 2 6 反射鏡
- 7 2 8 バルク型の偏波面ビームスプリッタ
- 7 2 9 バルク型のビームスプリッタ
- 7 2 7 バルク型の半波長板
- 7 3 0 ファラデー回転子ミラー
- 8 0 0 光分散測定装置
- 8 0 1 光検出器

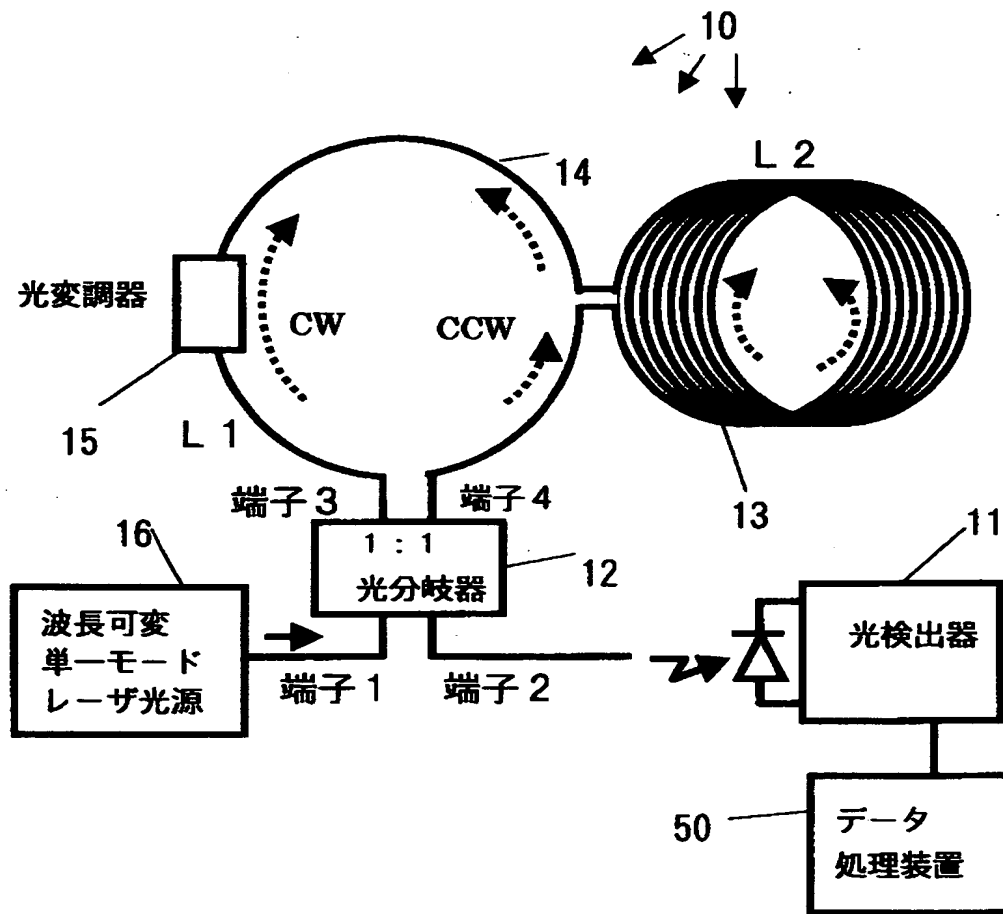
- 8 0 4 空気中に設置された光路
- 8 0 5 バルク型の（位相あるいは強度）光変調器
- 8 0 6 単一モードレーザー光源
- 8 0 7 バルク型の光アイソレータ
- 8 1 2 電気発振器
- 8 2 2、8 2 3、8 2 4 レンズ
- 8 2 6 反射鏡
- 8 2 9 ビームスプリッタ
- 8 4 0 レトロリフレクター
- 9 0 0 光分散測定装置
- 9 0 1 光検出器
- 9 0 2 偏波保持型光分岐器
- 9 0 4 偏波保持型の光ファイバー
- 9 0 5 偏波保持型光位相あるいは強度変調器
- 9 0 6 単一モードレーザー光源
- 9 0 7 偏波保持型光アイソレータ
- 9 1 2 電気発振器
- 9 2 1 光学主軸を 9 0 度回した状態での接続（融着）
- 9 2 8 偏波面ビームスプリッタ
- 9 2 2 レンズ
- 9 3 0 ファラデー回転子ミラー
- 1 0 0 0 光分散測定装置
- 1 0 0 1 光検出器
- 1 0 0 4 空気中に設置された光路
- 1 0 0 5 バルク型の光位相または強度変調器
- 1 0 0 6 単一モードレーザー光源
- 1 0 0 7 バルク型アイソレータ
- 1 0 1 2 電気発振器
- 1 0 2 2、1 0 2 3、1 0 2 4 レンズ

- 1 0 2 5、1 0 2 6    反射鏡
- 1 0 2 7    バルク型の半波長板
- 1 0 2 8    バルク型の偏波面ビームスプリッタ
- 1 0 2 9    バルク型のビームスプリッタ
- 1 0 3 0    ファラデー回転子ミラー
- 1 2 2 2、1 2 2 3    レンズ
- 1 2 5 1    9 0 度ファラデー回転子
- 1 2 5 2 a、1 2 5 2 b    回転した回転可能半波長板

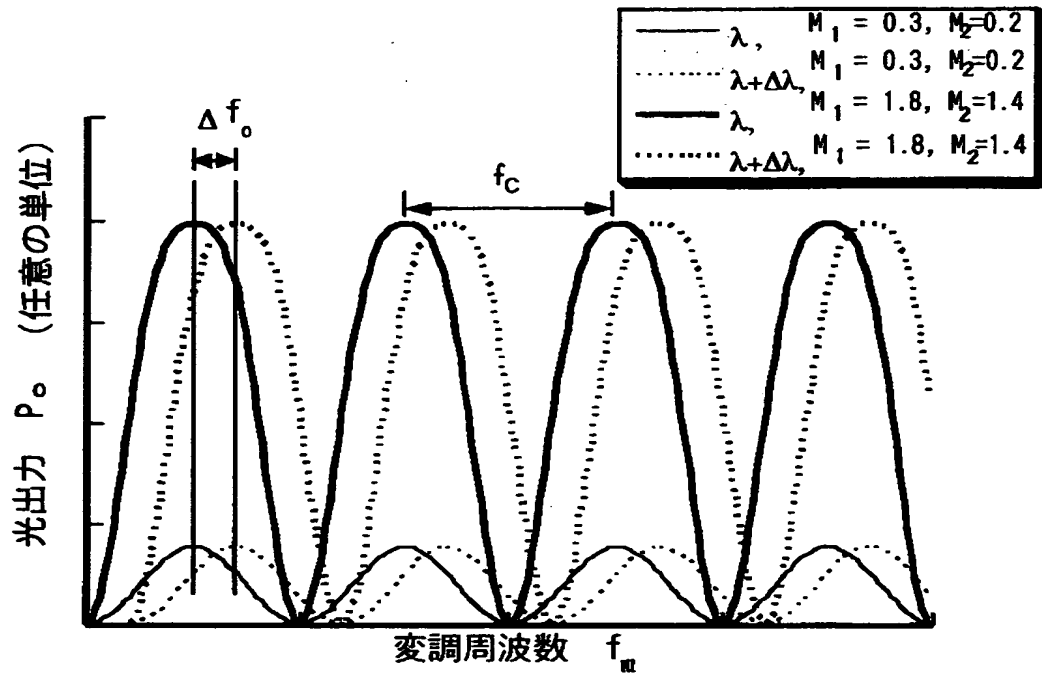


【書類名】 図面

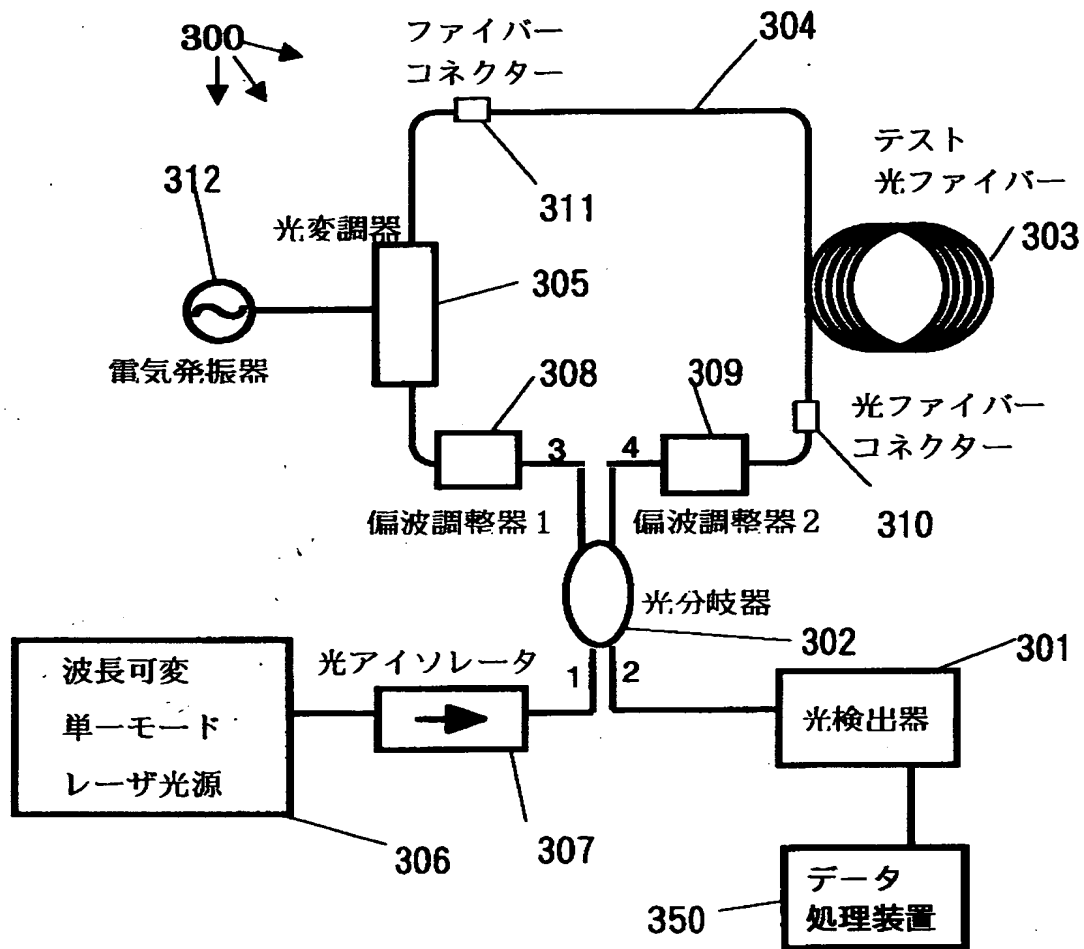
【図 1】



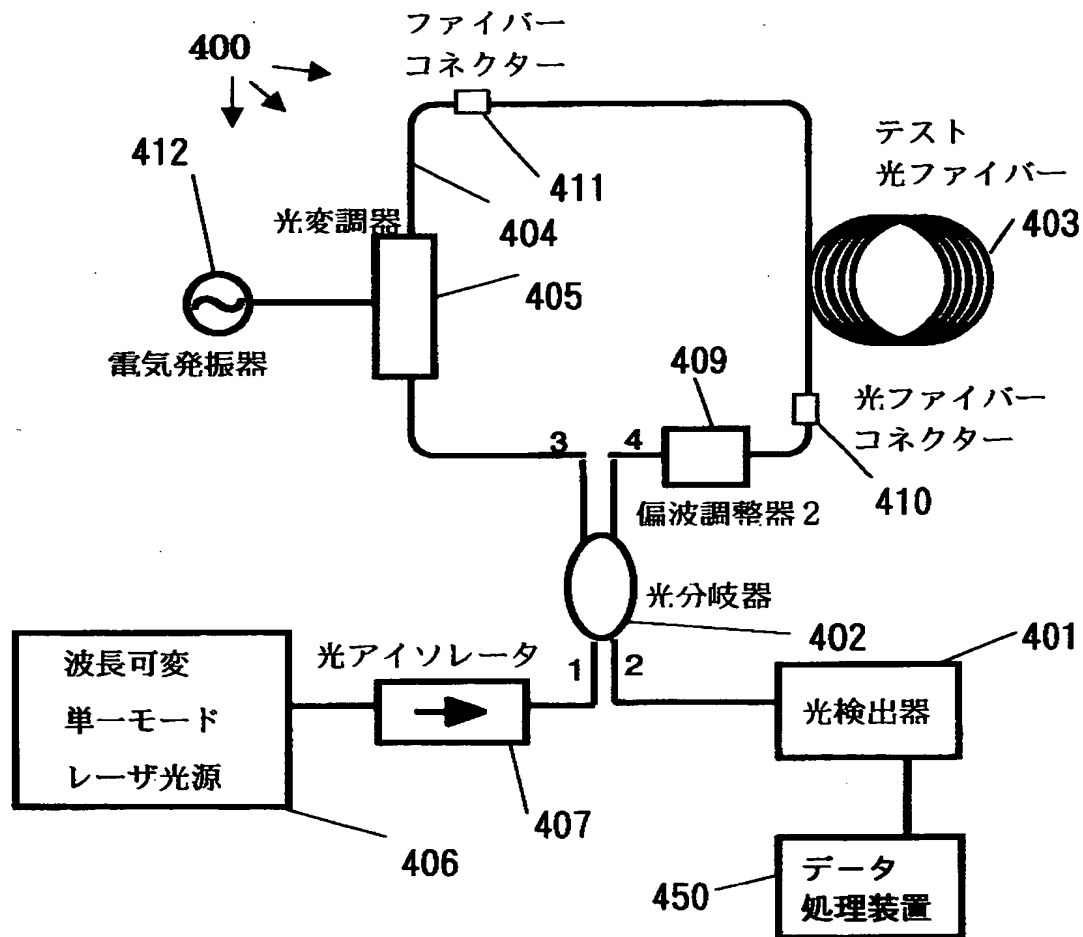
【図 2】



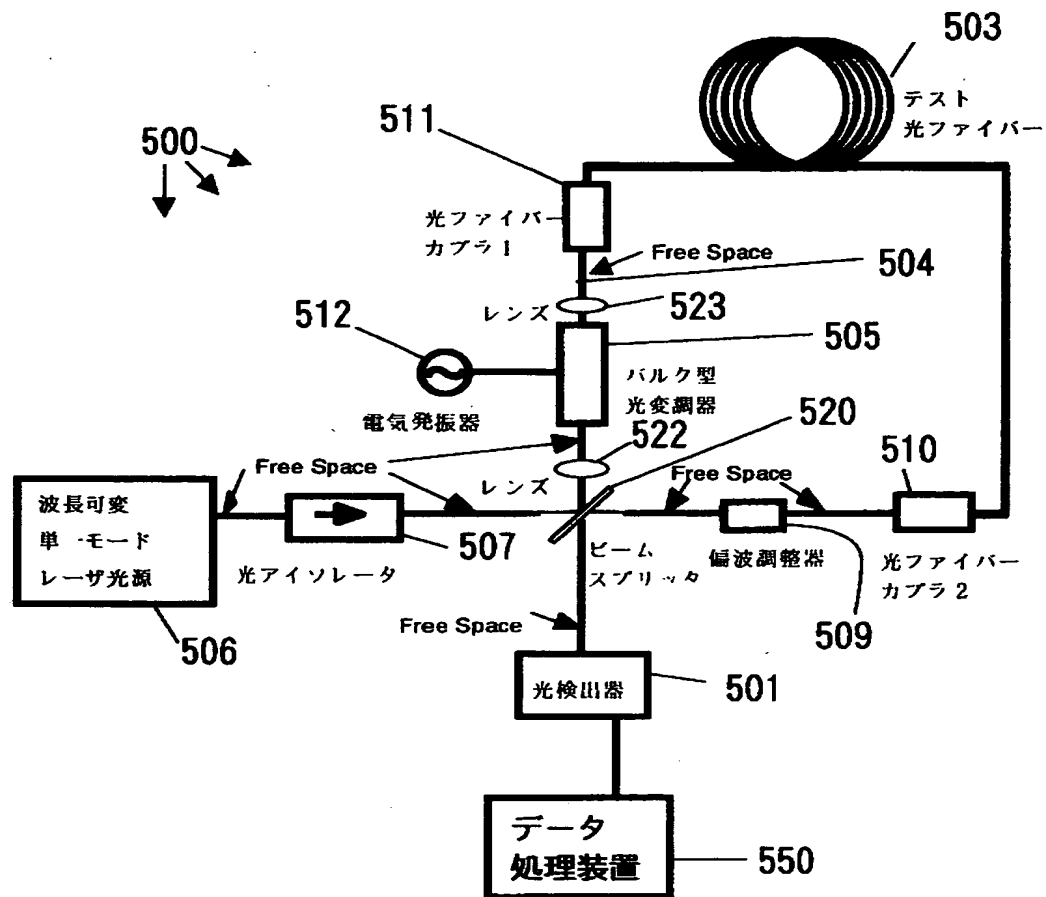
【図 3】



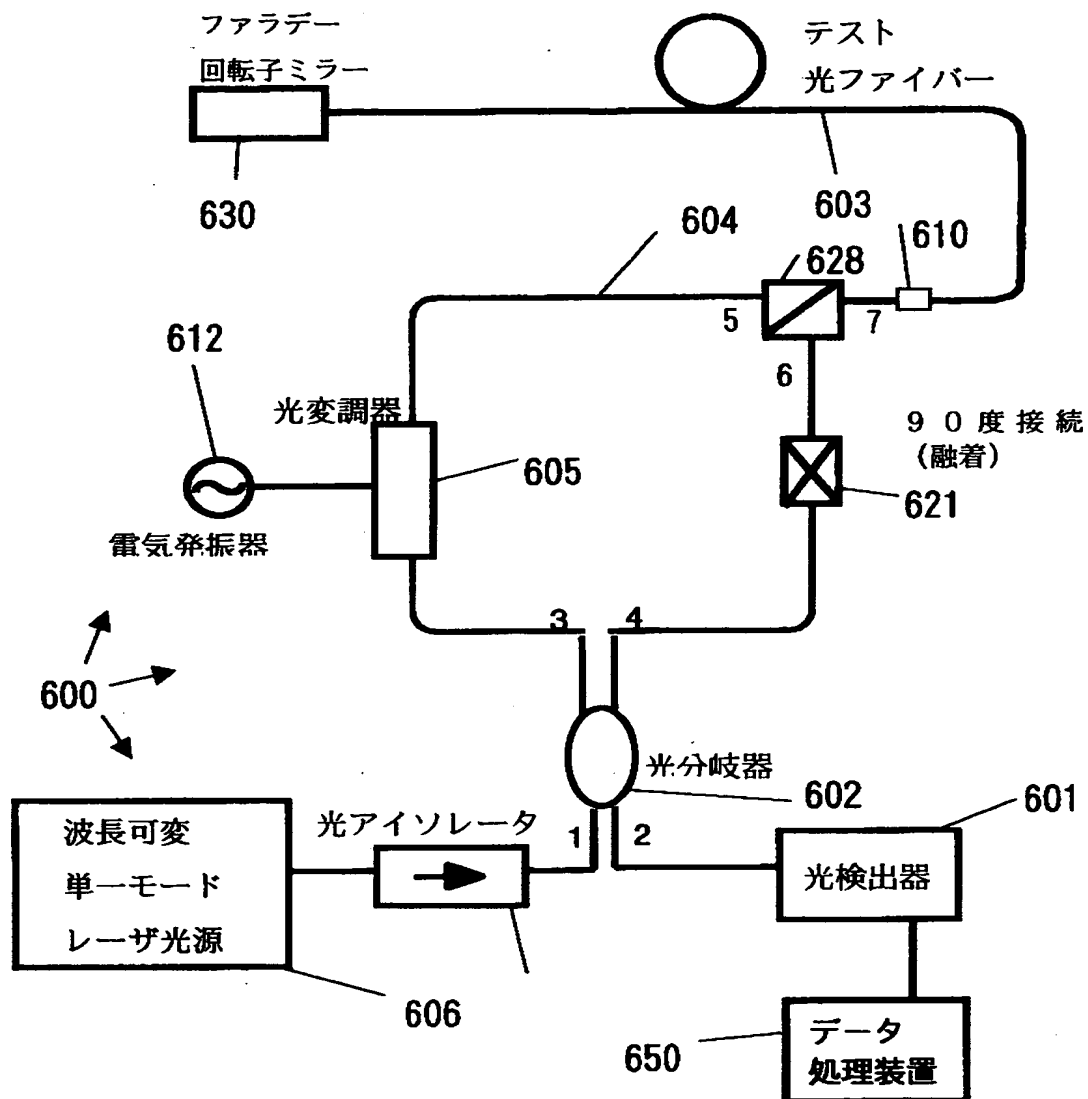
【図 4】



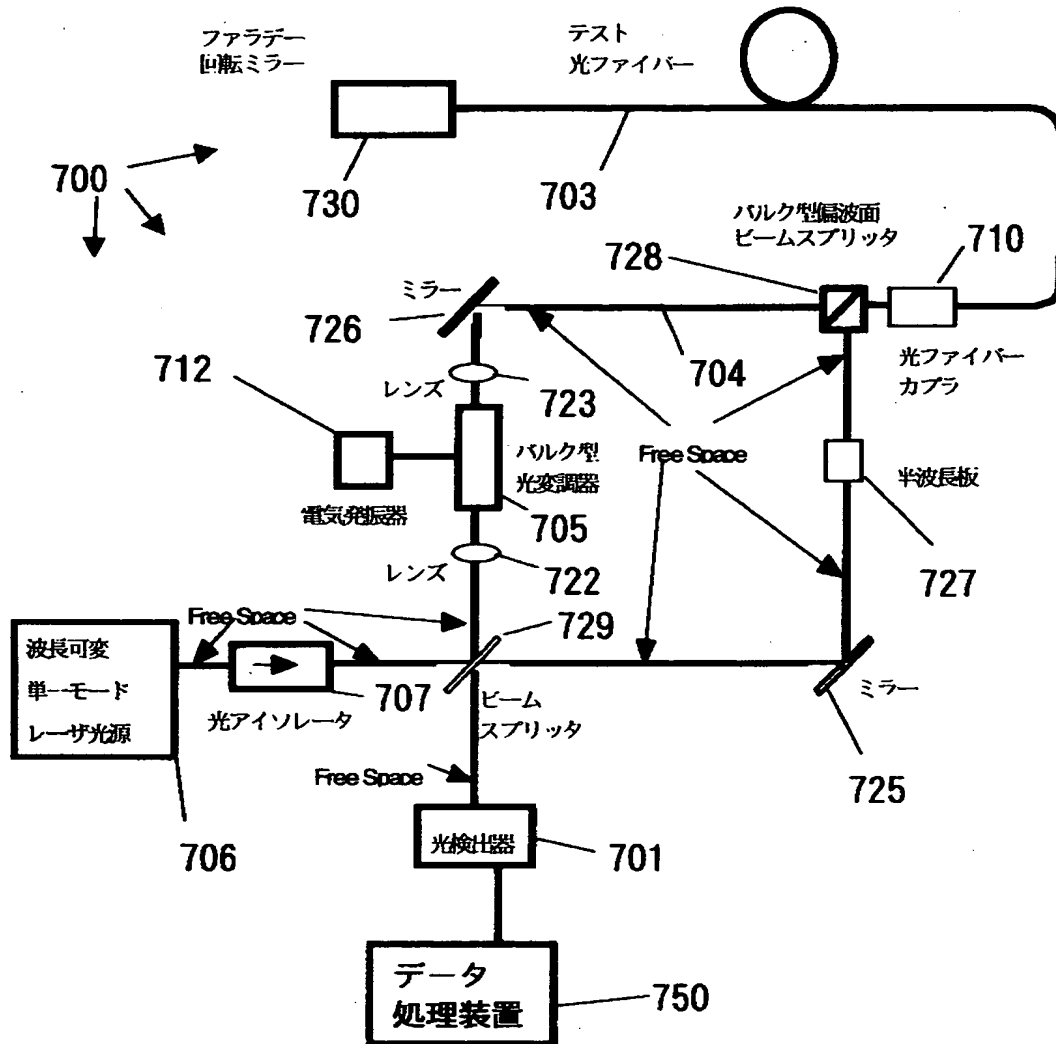
【図 5】



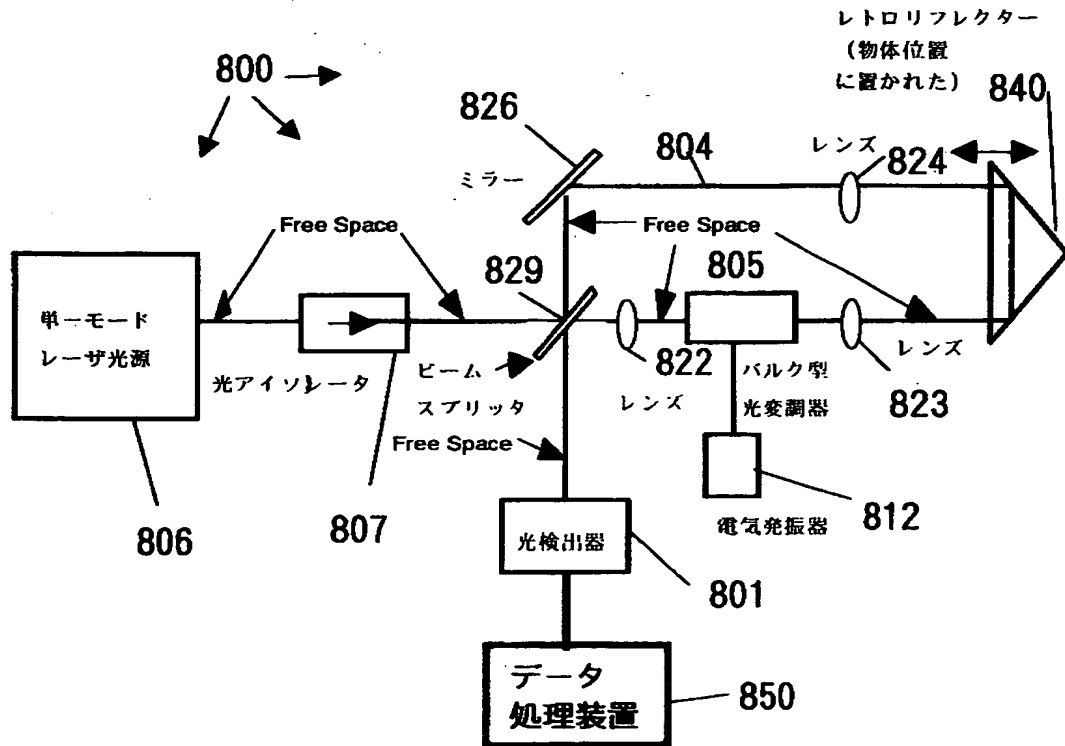
【図 6】



【図 7】

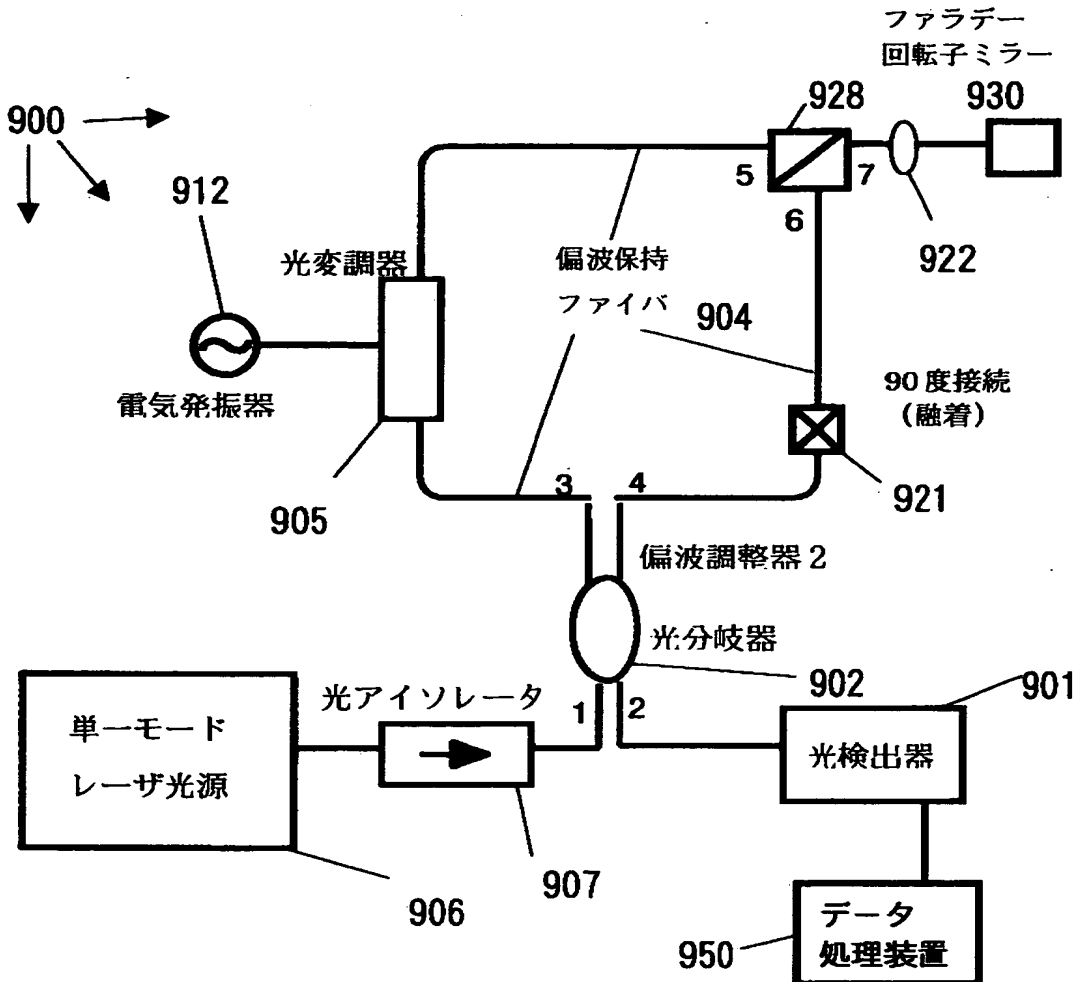


【図 8】

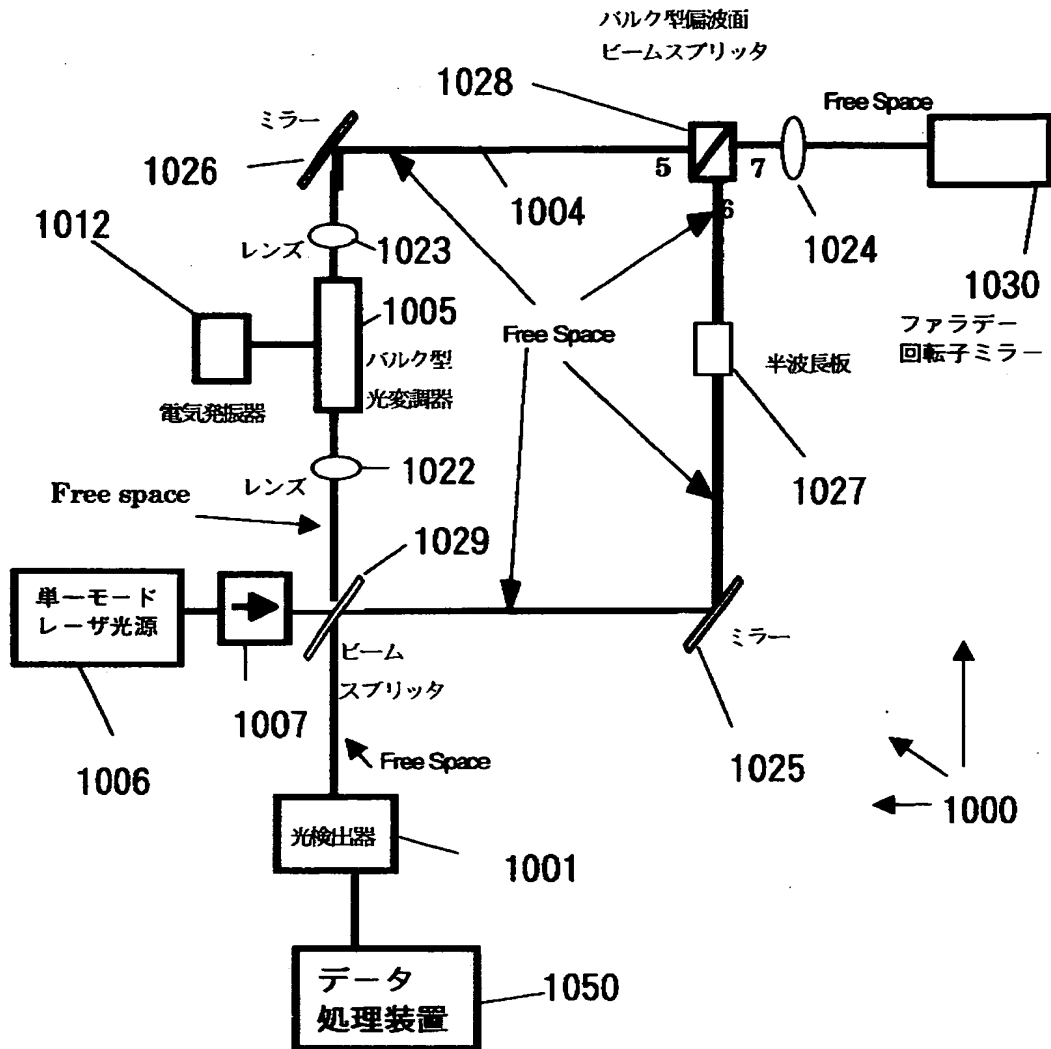




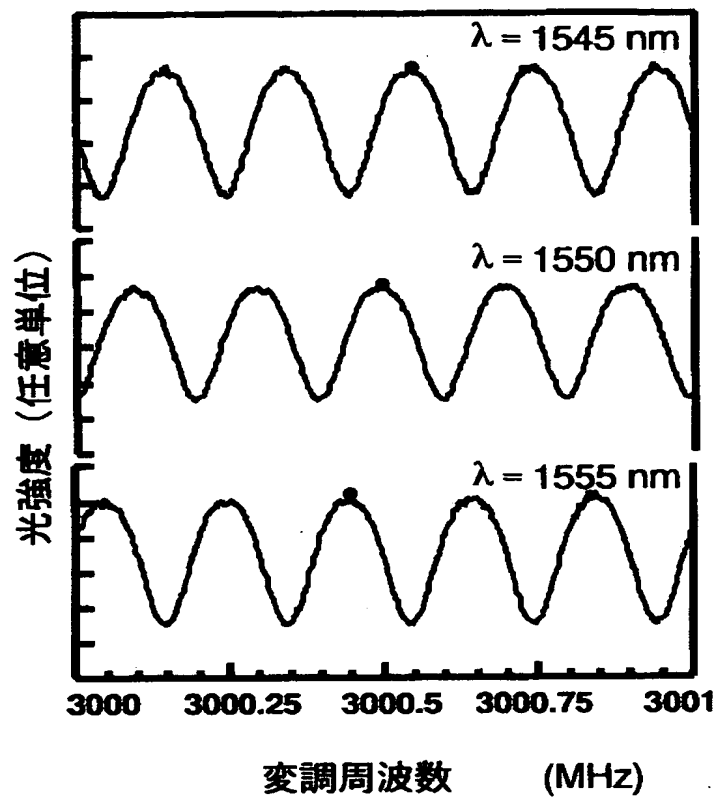
【図9】



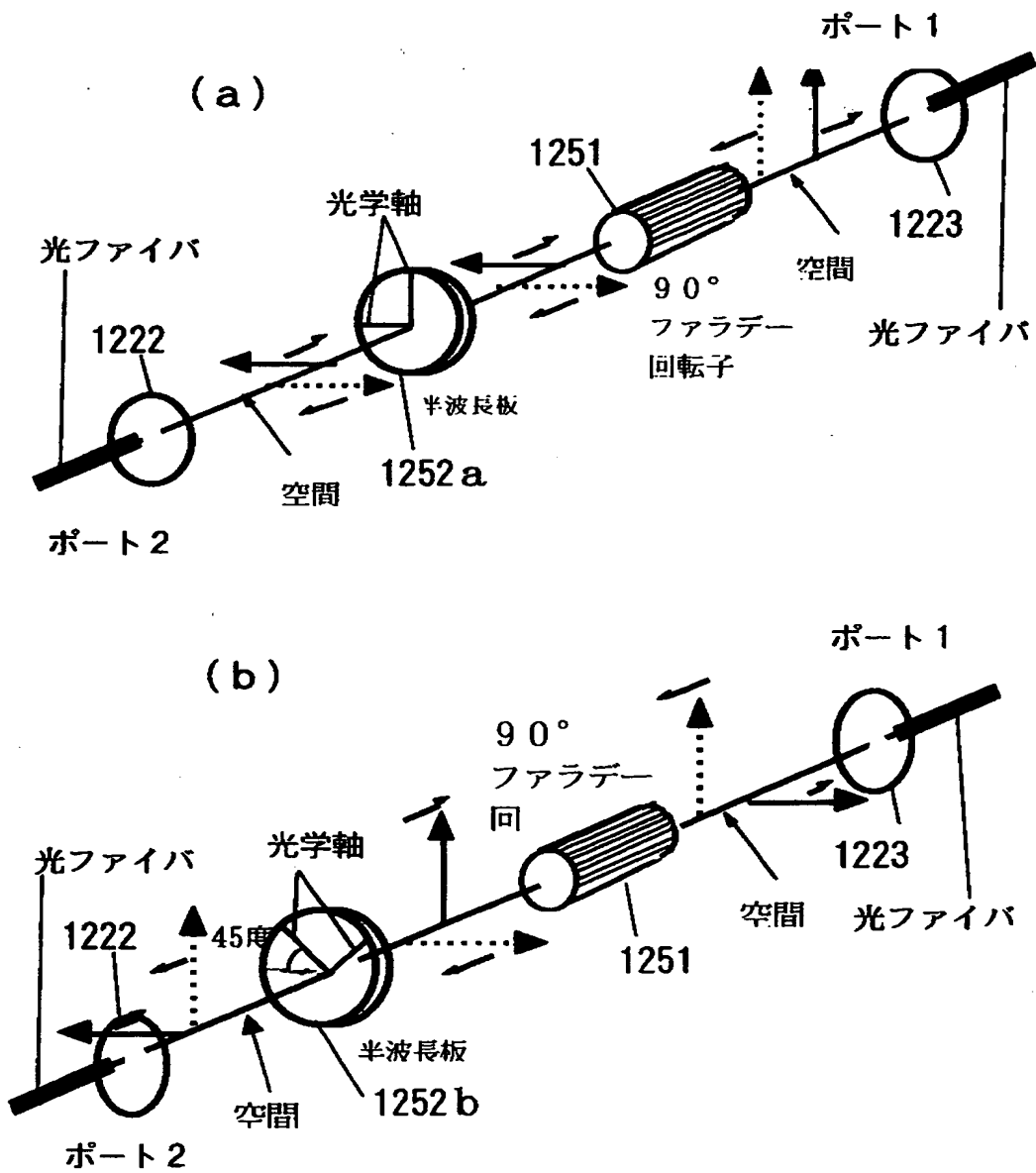
【図 1 0】



【図 1 1】



【図 12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 簡単な装置により、光分散測定コストの削減を図ることができる光分散測定装置およびその測定方法を提供することを目的とする。

【解決手段】 光変調器を含むリング型の干渉計を利用した方法で、右回りの光は、被測定物を通過する前に変調され、左回りの光は、通過した後で変調を受ける様にする。これら2つの成分は干渉計の端子から出射する際お互い干渉し合い、時間についての平均出力パワーが、被測定物の分散による効果で変調周波数に依存するので、変調周波数をスキャンしながら、光の平均出力測定すれば周期的な構造を持った干渉フリンジが見られる。光源の波長を僅かに変えたと、フリンジがシフトする現象が見られ、この現象を用いて、光の波長分散測定する。

【選択図】 図1

認定・付加情報

特許出願の番号	平成11年 特許願 第315413号
受付番号	59901084626
書類名	特許願
担当官	塩崎 博子 1606
作成日	平成12年 1月18日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	391027413
【住所又は居所】	東京都小金井市貫井北町4丁目2番1号
【氏名又は名称】	郵政省通信総合研究所長

【特許出願人】

【識別番号】	599022742
【住所又は居所】	兵庫県神戸市西区岩岡町岩岡588-2 郵政省 通信総合研究所 関西先端研究センター内
【氏名又は名称】	カジ サルワル アベディン

【代理人】

【識別番号】	100061642
【住所又は居所】	東京都港区西新橋1-6-13 柏屋ビル4階
【氏名又は名称】	福田 武通

【選任した代理人】

【識別番号】	100082669
【住所又は居所】	東京都港区西新橋1-6-13 柏屋ビル
【氏名又は名称】	福田 賢三

【選任した代理人】

【識別番号】	100095337
【住所又は居所】	東京都港区西新橋1-6-13 柏屋ビル 福田 特許事務所
【氏名又は名称】	福田 伸一

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [391027413]

1. 変更年月日 1991年 3月11日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都小金井市貫井北町4丁目2番1号

氏 名 郵政省通信総合研究所長

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [599022742]

1. 変更年月日 1999年 2月18日

[変更理由] 新規登録

住 所 兵庫県神戸市西区岩岡町岩岡588-2 郵政省通信総合研究  
所 関西先端研究センター内

氏 名 カジ サルワル アベディン